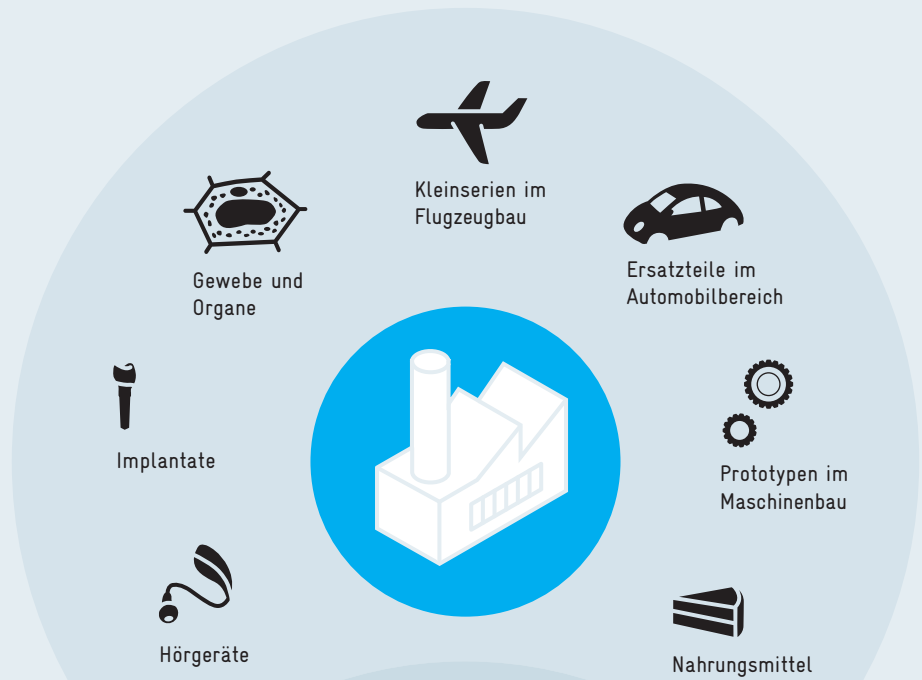


# Additive Fertigung („3D-Druck“)

Additive Fertigung (AF) oder 3D-Druck ermöglicht die unmittelbare Herstellung dreidimensionaler physischer Objekte auf der Grundlage digitaler Informationen, z.B. in Form eines 3D-CAD-Datensatzes. Bei diesem Herstellungsverfahren werden Produkte zumeist durch das schichtweise Auftragen von Metallen oder Kunststoffen gefertigt.

## Anwendungsbereiche in der Industrie

Im industriellen Bereich werden unterschiedlichste Materialien wie etwa Metalle, Kunststoffe, Keramik bis hin zu lebenden Zellen verwendet.



## Private Anwendungsbereiche

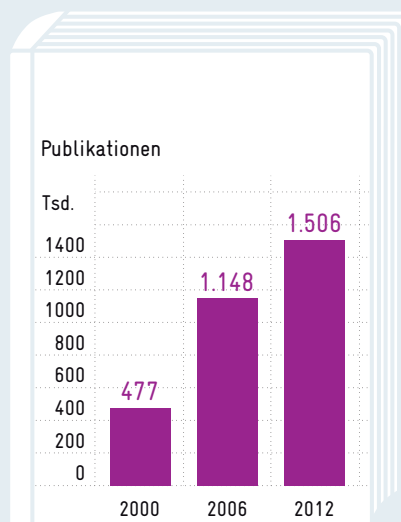
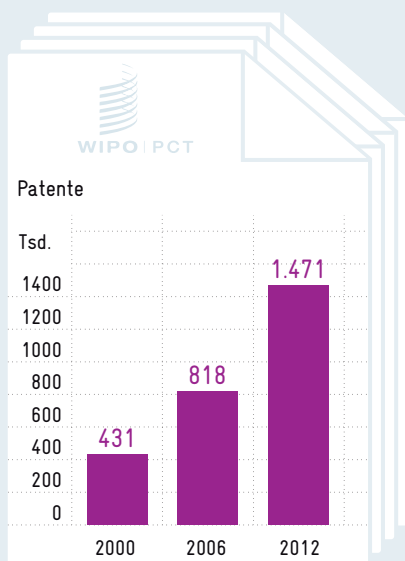
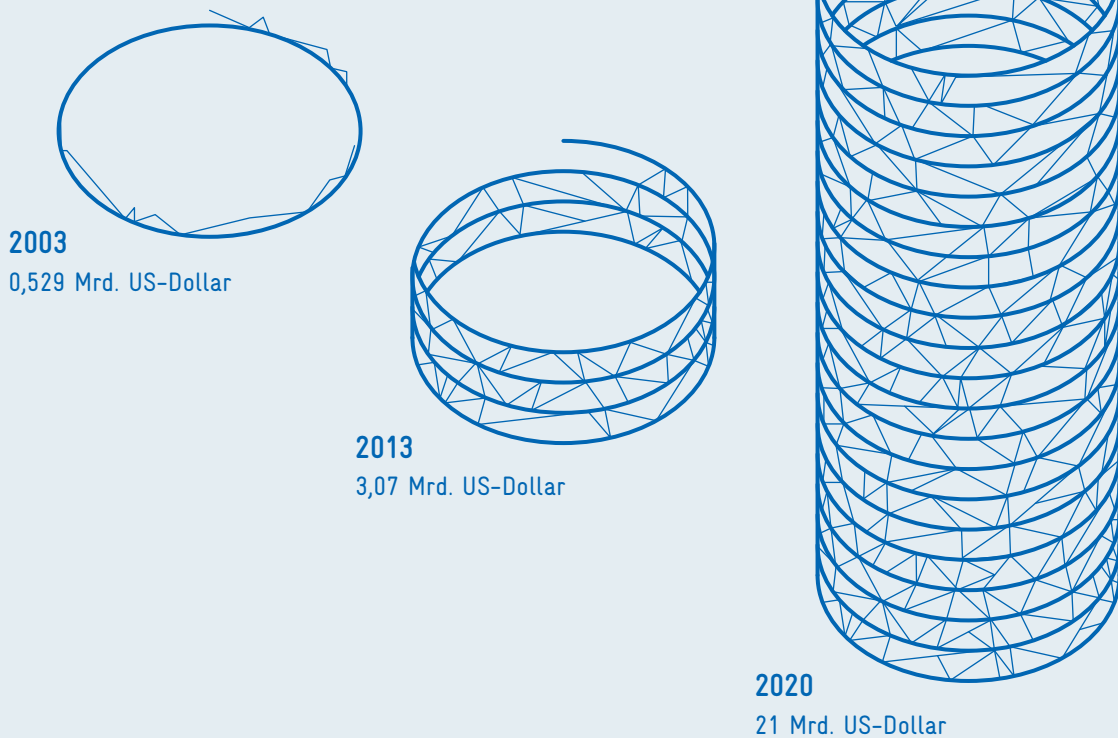
AF-Technologien werden auch im privaten Bereich genutzt. Im „Maker Movement“ vernetzen sich Anwender, tauschen digitale Designs und individualisieren Produkte.



Download  
Daten

## Weltweiter Umsatz durch den Verkauf von AF-Gütern und -Dienstleistungen in US-Dollar

AF-Güter umfassen 3D-Drucker, Material, Zubehör und Software sowie AF-bezogene Dienstleistungen, die zur Herstellung additiv gefertigter Produkte eingesetzt werden. Additiv gefertigte Produkte sind nicht erfasst.



## Patente und Publikationen

AF ist ein forschungs- und innovationsintensives Feld: Die Zahl wissenschaftlicher Publikationen und Patentanmeldungen ist weltweit in diesem Bereich in den vergangenen Jahren stark gestiegen.

Quelle: Darstellung von Kognito Gestaltung, 2015. Daten zu Umsätzen: vgl. Wohlers (2014: 110ff.). Patent- und Publikationsdaten gemäß schriftlicher Auskunft von Fraunhofer IGD und Prognos AG.

## B 4 Additive Fertigung („3D-Druck“)

### B 4-1 Status quo und Perspektiven

Additive Fertigung (AF), auch unter den Begriffen 3D-Druck oder generative Fertigungsverfahren bekannt, ermöglicht die unmittelbare Herstellung dreidimensionaler physischer Objekte auf der Grundlage digitaler Information, z. B. in Form eines 3D-CAD-Datensatzes.<sup>244</sup> Anders als bei traditionellen subtraktiven Fertigungsverfahren wie Fräsen und Drehen oder formativen Verfahren wie Gießen und Schmieden werden bei additiven Fertigungsverfahren Produkte zumeist durch das schichtweise Auftragen von Metallen oder Kunststoffen gefertigt.<sup>245</sup> Dieses Schichtbauprinzip erlaubt die flexible Herstellung beinahe beliebig komplexer Geometrien und innerer Strukturen. Es bietet so eine nahezu unbegrenzte gestalterische und konstruktive Freiheit im Umgang mit Werkstoffen.<sup>246</sup> Ein zentraler Vorteil von AF ist ihre vielseitige Verwendbarkeit. AF ist in produzierenden Branchen – von der Luft- und Raumfahrtindustrie bis zur Gesundheitswirtschaft – einsetzbar. Selbst der Aufbau von Strukturen mit lebenden Zellen (Bioprinting) ist mit AF möglich.

Durch den Preisverfall bei der technischen Infrastruktur wird AF zudem auch für neue Anwendergruppen – im industriellen Bereich wie auch in privaten Haushalten – immer attraktiver. AF ist somit geeignet, die Produktentwicklung durch schnelle Verfügbarkeit komplexer Prototypen zu beschleunigen und qualitativ zu verbessern. Die Verschlankung der fertigungstechnischen Schritte ermöglicht gegenüber traditionellen Fertigungsverfahren eine erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit der Unternehmen auf die Marktanforderungen unter stark reduziertem Prozessaufwand. Produktentwicklung und Markteinführung lassen sich dadurch deutlich verkürzen;<sup>247</sup> Unternehmen können somit flexibel auf kürzere Produktlebenszyklen reagieren.<sup>248</sup>

AF ist keine völlig neue Technologie. Seit der erstmaligen Präsentation einer funktionsfähigen Anlage im Jahre 1984 wurde AF allerdings fast ausschließlich für spezielle industrielle Anwendungen wie etwa die beschleunigte Entwicklung von Prototypen (Rapid Prototyping) verwendet.<sup>249</sup> Erst mit den immer breiteren Anwendungsmöglichkeiten und sinkenden Kosten entwickelte sich AF zu einer Technologie, die nicht mehr ausschließlich im industriellen Kontext, sondern inzwischen auch von Privatanwendern genutzt wird und somit verstärkt die öffentliche Aufmerksamkeit auf sich zieht.

Je nach Anwendungsbereich – Industriefertigung, Medizintechnik, Bioprinting oder heimische Konsumentenfertigung (Maker Movement vgl. Box 12) – variiert der technologische Reifegrad der AF-Technologien: Bioprinting und heimische Konsumentenfertigung lassen sich in einem frühen technologischen Stadium verorten, während AF im industriellen Bereich bereits als etablierte Technik eingestuft wird.<sup>250</sup>

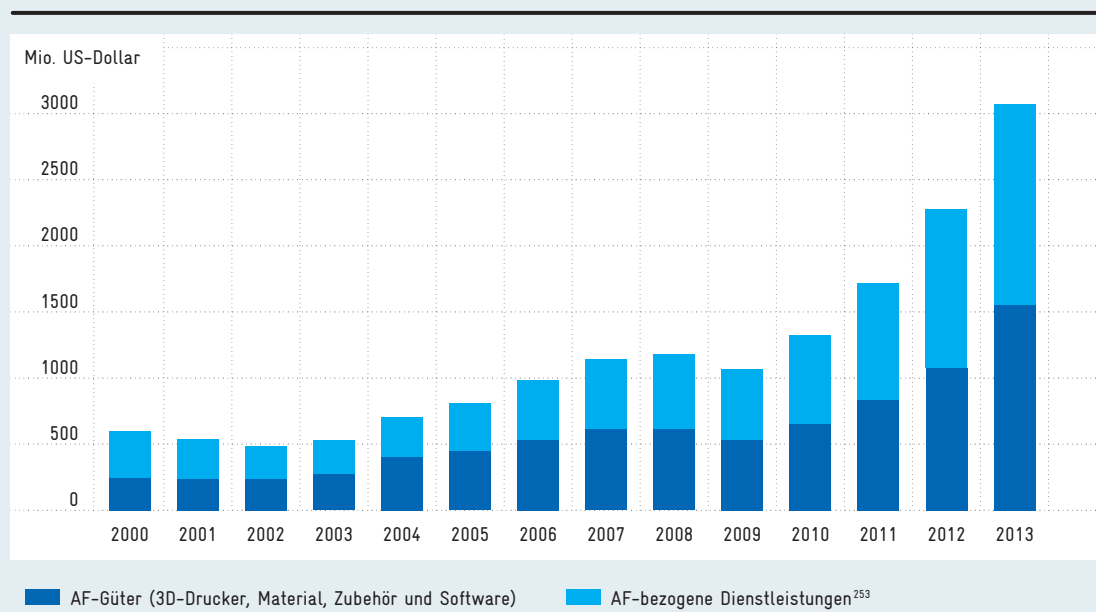
Die Expertenkommission analysiert Potenziale von AF für Produktion und Innovation und formuliert Empfehlungen, ob bzw. in welcher Weise Rahmenbedingungen zu verbessern und bestehende Förderaktivitäten anzupassen sind.

#### **Marktsituation im Bereich Additive Fertigung**

Infolge der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten ist AF eine intensiv diskutierte Technologie, der ein disruptives Potenzial nachgesagt wird.<sup>251</sup> Additiv gefertigte Produkte kommen vor allem in den folgenden Branchen zur Anwendung: Kraftwagen und Kraftwagenmotoren, chemische Erzeugnisse, Luft- und Raumfahrzeuge, Maschinen für die Erzeugung und Nutzung mechanischer Energie, medizinische Geräte und orthopädische Erzeugnisse sowie Mess-, Kontroll-, Navigations- und ähnliche Instrumente und Vorrichtungen.<sup>252</sup>

Abb 04  
Download  
Daten

### Weltweite Umsätze mit AF-Gütern (Hard- und Software) und -Dienstleistungen in Millionen US-Dollar



Quelle: Vgl. Wohlers (2014: 110).

Verlässliche Schätzungen zum Umsatz mit additiv gefertigten Produkten (Anwenderseite) liegen nicht vor. Lediglich für die Anbieterseite (Anbieter von AF-Gütern und AF-bezogenen Dienstleistungen zur Herstellung von additiv gefertigten Produkten) existieren Abschätzungen zur Marktsituation und Prognosen zur Marktentwicklung. Dabei unterscheiden sich die Angaben je nach Marktabgrenzung erheblich.

Gemäß der Studie eines Marktforschungsunternehmens ist der weltweite Umsatz durch den Verkauf von AF-Gütern sowie AF-bezogenen Dienstleistungen zwischen 2000 und 2013 von 600 Millionen auf rund 3 Milliarden US-Dollar pro Jahr gestiegen (vgl. Abbildung 4).<sup>254</sup> Bis zum Jahr 2020 soll der Umsatz auf rund 21 Milliarden US-Dollar jährlich steigen.<sup>255</sup>

Bezogen auf Deutschland kommt eine im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) erstellte Studie zu dem Ergebnis, dass der Anteil deutscher Unternehmen am weltweiten Umsatz mit AF-Gütern und -Dienstleistungen im Jahr 2010 (1,3 Milliarden US-Dollar) etwa 15 bis 20 Prozent ausgemacht hat.<sup>256</sup> Dies entspricht bei einer engen Marktabgrenzung einem Volumen von 200 bis 250 Millionen US-Dollar. Wird eine breiter angelegte Abgrenzung<sup>257</sup> von AF-Gütern angewendet, so sind in Deutschland rund 1.000 Unternehmen tätig, die

AF-relevante Hard- und Software produzieren sowie -Dienstleistungen anbieten. Der damit erzielte Umsatz wird für das Jahr 2010 auf 8,7 Milliarden Euro geschätzt. Wird (wie in der Studie) ein jährliches Umsatzwachstum von bis zu 15 Prozent zugrunde gelegt, könnte der Umsatz deutscher Unternehmen bis zum Jahr 2020 auf 35,1 Milliarden Euro wachsen.<sup>258</sup> Diese groben Schätzungen verdeutlichen das Marktpotenzial der AF. Voraussetzung für ein derart starkes Wachstum sind allerdings stetige Innovationen sowie die Erschließung neuer Anwendungsgebiete.<sup>259</sup>

#### Anbieterseite mittelständisch strukturiert

Die Anbieterseite von AF-Gütern und -Dienstleistungen spiegelt die typische Größenstruktur der deutschen Unternehmenslandschaft wider: Von den rund 1.000 in der oben genannten Studie berücksichtigten Unternehmen hat fast die Hälfte weniger als 25 Mitarbeiter. Fast zwei Drittel der Unternehmen erwirtschaften einen Jahresumsatz von weniger als 5 Millionen Euro. Nach der aus Förderperspektive relevanten Mittelstandsdefinition der EU, die alle Unternehmen mit bis zu 250 Mitarbeitern als KMU klassifiziert, sind über 90 Prozent der Unternehmen KMU.<sup>260</sup>

Nach Einschätzung der Autoren der Studie handelt es sich bei einer ganzen Reihe von Unternehmen um weltmarktorientierte Technologieproduzenten mit einer ausgeprägten Innovationsneigung und guter Wettbewerbsposition:<sup>261</sup> Insgesamt ist Deutschland Nettoexporteur von AF-Gütern und -Dienstleistungen.<sup>262</sup> Rund 160 der identifizierten Unternehmen sind als Entwickler und Produzenten von AF-Hardware tätig, etwa 240 Unternehmen entwickeln AF-relevante Software. Die übrigen Unternehmen bieten entweder ausschließlich Dienstleistungen oder Dienstleistungen in Kombination mit Hard- und Software-Angeboten an.<sup>263</sup>

Die AF-Gerätehersteller (bzw. Hersteller von 3D-Druckern) mit den weltweit größten Marktanteilen sind allerdings in den USA ansässig.<sup>264</sup> Zu den wichtigsten deutschen Herstellern, die auch auf dem Weltmarkt sehr gut positioniert sind, gehören die Unternehmen EOS Electro Optical Systems GmbH (Krailling, Umsatz 2013: 45,8 Millionen Euro), SLM Solutions GmbH (Lübeck, 21 Millionen Euro), Voxeljet AG (Friedberg, 11,7 Millionen Euro), Concept Laser GmbH (Lichtenfels, 7 Millionen Euro), Envisiontec GmbH (Gladbeck, 4,4 Millionen Euro) sowie Realizer GmbH (Borchen, 2,6 Millionen Euro).<sup>265</sup> Darüber hinaus sind auch etablierte deutsche Maschinenbauunternehmen, wie z. B. die Trumpf AG, in der Entwicklung und Herstellung von AF-Geräten (bzw. 3D-Druckgeräten) aktiv.<sup>266</sup>

### **Förderung von Additiver Fertigung im internationalen Vergleich**

In den vergangenen Jahren haben zahlreiche Industriestaaten die wachsende Bedeutung von AF erkannt und Förderprogramme für einheimische AF-Unternehmen eingerichtet. Zur besseren Einordnung der deutschen Förderpolitik werden einige dieser Förderprogramme kurz vorgestellt:

USA: Die US-Regierung misst dem Thema AF eine hohe Bedeutung bei und unterstützt Forschung und industrielle Anwendung sowie Unternehmensgründungen und das sogenannte Maker-Movement.<sup>267</sup> Ziel ist es, durch die Förderung von AF verlorene Kapazitäten in der Industrieproduktion wieder aufzubauen und neue Arbeitsplätze zu schaffen.<sup>268</sup> Die Förderung von AF ist dabei integraler Bestandteil des 2012 gestarteten Programms National Network of Manufacturing Innovation, in dessen Rahmen das National Additive Manufacturing Innovation Institute (seit 2013: America Makes) als Piloteinrichtung

gegründet wurde.<sup>269</sup> America Makes ist eine öffentlich-private Partnerschaft, die rund 50 Unternehmen, 28 Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie 16 weitere Organisationen umfasst und von der US-Regierung nach eigenen Angaben mit 50 Millionen US-Dollar ausgestattet wurde.

Ziel ist die beschleunigte Entwicklung und der Transfer von AF-Technologien in den produzierenden Sektor und damit die Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der amerikanischen verarbeitenden Industrie.<sup>270</sup> Die Gründung weiterer Additive Manufacturing Innovation Institutes wurde von Präsident Obama angekündigt.<sup>271</sup>

China: Es gibt in China Befürchtungen, das Land könne als Produktionsstandort für den Exportmarkt an Attraktivität verlieren. Insbesondere wird die Gefahr gesehen, US-amerikanische und europäische Unternehmen könnten AF-Kapazitäten direkt in ihren jeweiligen Absatzmärkten aufbauen und somit einen Teil ihrer Produktion aus China abziehen.<sup>272</sup>

Die chinesische Regierung unterstützt vermutlich daher den Aufbau einer starken heimischen AF-Industrie. In ihrem Auftrag baut die staatlich geförderte Handelsgruppe Asian Manufacturing Association (AMA) seit 2013 zehn Einrichtungen auf, die zu AF forschen. Jedes Institut erhielt eine erste Förderung von 3,3 Millionen US-Dollar.<sup>273</sup> Auch an einigen chinesischen Universitäten sind AF-Forschungskapazitäten aufgebaut worden. Insgesamt sieht die chinesische Regierung zur Förderung von AF rund 245 Millionen US-Dollar für einen Zeitraum von drei Jahren vor.<sup>274</sup> Eine starke und international erfolgreiche private Unternehmenslandschaft gibt es bislang nicht; noch prägen staatliche Einrichtungen die AF-Industrie in China.<sup>275</sup>

EU: Die EU-Kommission bezeichnet AF als Treiber des digitalen Wandels und äußert sich optimistisch, dass mittels AF der produzierende Sektor in Europa gestärkt werden könne.<sup>276</sup> Spezifische Förderprogramme zur AF gibt es auf EU-Ebene derzeit nicht, sondern eine Förderung findet vor allem im Kontext übergeordneter Programme bzw. Anwendungsbereiche statt.<sup>277</sup> So werden z. B. im achten Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“ Forschungsprojekte zu neuen AF-relevanten Materialien und Prozessen gefördert.<sup>278</sup> Ferner reagiert die EU mit ihrer Initiative Support Action for Standardisation in Additive Manufacturing (SASAM) auf die Notwendigkeit, einheitliche Standards zu schaffen bzw. die Standardisierungsaktivitäten in Europa zu koordinieren.<sup>279</sup>

Deutschland: Die Bundesregierung fördert AF im Rahmen der institutionellen Finanzierung für einschlägige AUF sowie im Rahmen der Projektförderung des Bundes. Der Bund hat seine Fördertätigkeit im Bereich AF ausgeweitet.<sup>280</sup> Die Förderung von AF findet dabei – ähnlich wie auf EU-Ebene – vor allem im Kontext spezifischer Anwendungsbereiche statt. Ein Beispiel hierfür ist das Projekt Gemini des BMWi zur Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle im Kontext von Industrie 4.0.<sup>281</sup> Darüber hinaus gibt es seitens des BMWi Überlegungen, AF in Verbindung mit IKT-Anwendungen zu fördern.

Neben dieser Förderung im Kontext spezifischer Anwendungsbereiche hat das BMBF mittlerweile auch Maßnahmen initiiert, die primär die Forschung bzw. Kooperation von Forschungseinrichtungen und Unternehmen im Bereich AF unterstützen.<sup>282</sup>

Darüber hinaus fördert das BMBF AF im Rahmen des themenoffenen Regionalförderprogramms Zwanzig20. Für das in diesem Rahmen geförderte Projekt Additiv-Generative Fertigung – Die 3D-Revolution zur Produktherstellung im Digitalzeitalter

stellt das BMBF von 2013 bis 2020 bis zu 45 Millionen Euro zur Verfügung.<sup>283</sup> Ziel des Programms Zwanzig20 ist die Förderung von Kooperationen zwischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen in den neuen Bundesländern.<sup>284</sup>

Die Expertenkommission begrüßt, dass die AF-Technologie in den Förderprogrammen des Bundes mittlerweile größere Beachtung findet. Ein übergeordneter strategischer Rahmen für diese Förderung scheint derzeit aber noch zu fehlen.

## Publikations- und Patentaktivitäten im Bereich der Additiven Fertigung

B 4–2

### Zunehmende Publikationsaktivitäten

Die jährliche Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen zu AF-relevanten Themen<sup>285</sup> hat sich im Untersuchungszeitraum von 2000 bis 2013 weltweit nahezu vervierfacht (2000: 477; 2013: 1.793; vgl. Infografik zu Kapitelanfang).<sup>286</sup> An besonders vielen Publikationen der in diesem Zeitraum veröffentlichten

**Zahl und Qualität (Hirsch-Index) sowie durchschnittliches Wachstum (in Prozent) AF-relevanter Publikationen (2000 bis 2014) für ausgewählte Länder**

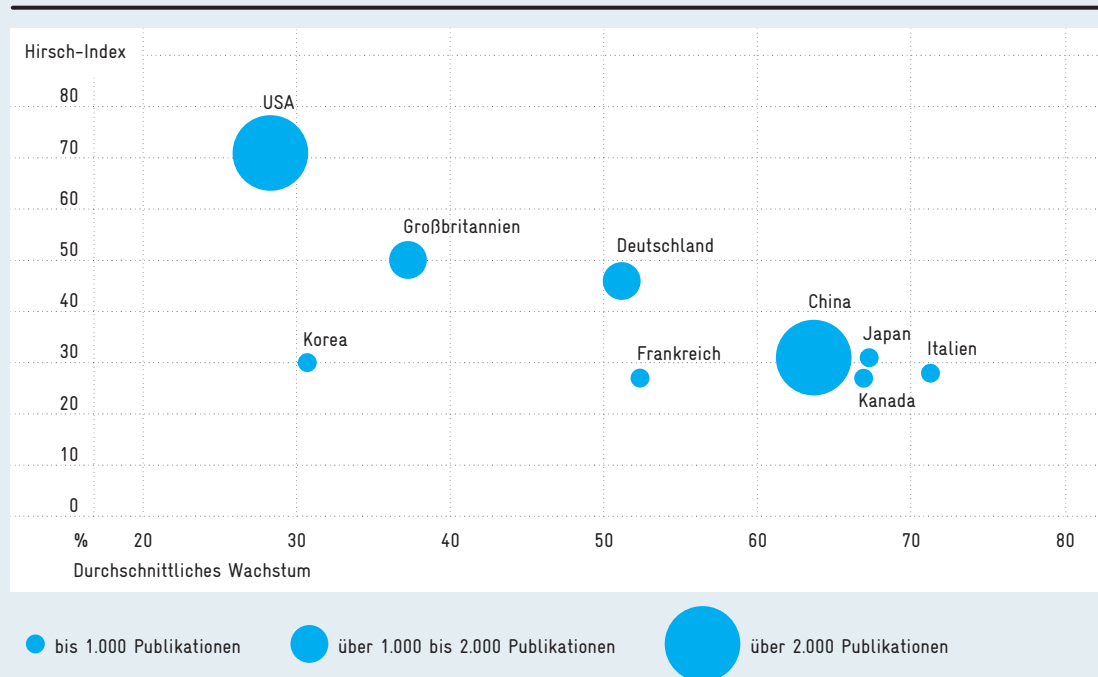


Abb 05  
Download  
Daten

Quelle: Scopus, Recherchen und Berechnung des Fraunhofer IGD.

Anmerkung: Grundlage für die Berechnung des durchschnittlichen Wachstums sind die Veränderungen zwischen 3-Jahreszeitscheiben im gesamten Zeitraum.

Arbeiten sind Wissenschaftler aus den USA beteiligt (vgl. Abbildung 5). Es folgen in China ansässige und in Deutschland ansässige Wissenschaftler. In Großbritannien ansässige Wissenschaftler stehen an vierter Stelle.<sup>287</sup> Die weltweit publikationsstärksten Einrichtungen im Bereich der AF-Forschung sind die Loughborough University in Großbritannien und die Huazhong University of Science and Technology in China. Mit der Technischen Universität München, der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg sowie der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen stehen drei deutsche Universitäten unter den Top 30 der forschungsstärksten Einrichtungen weltweit in diesem Bereich. Zudem sind Veröffentlichungen in Deutschland ansässiger

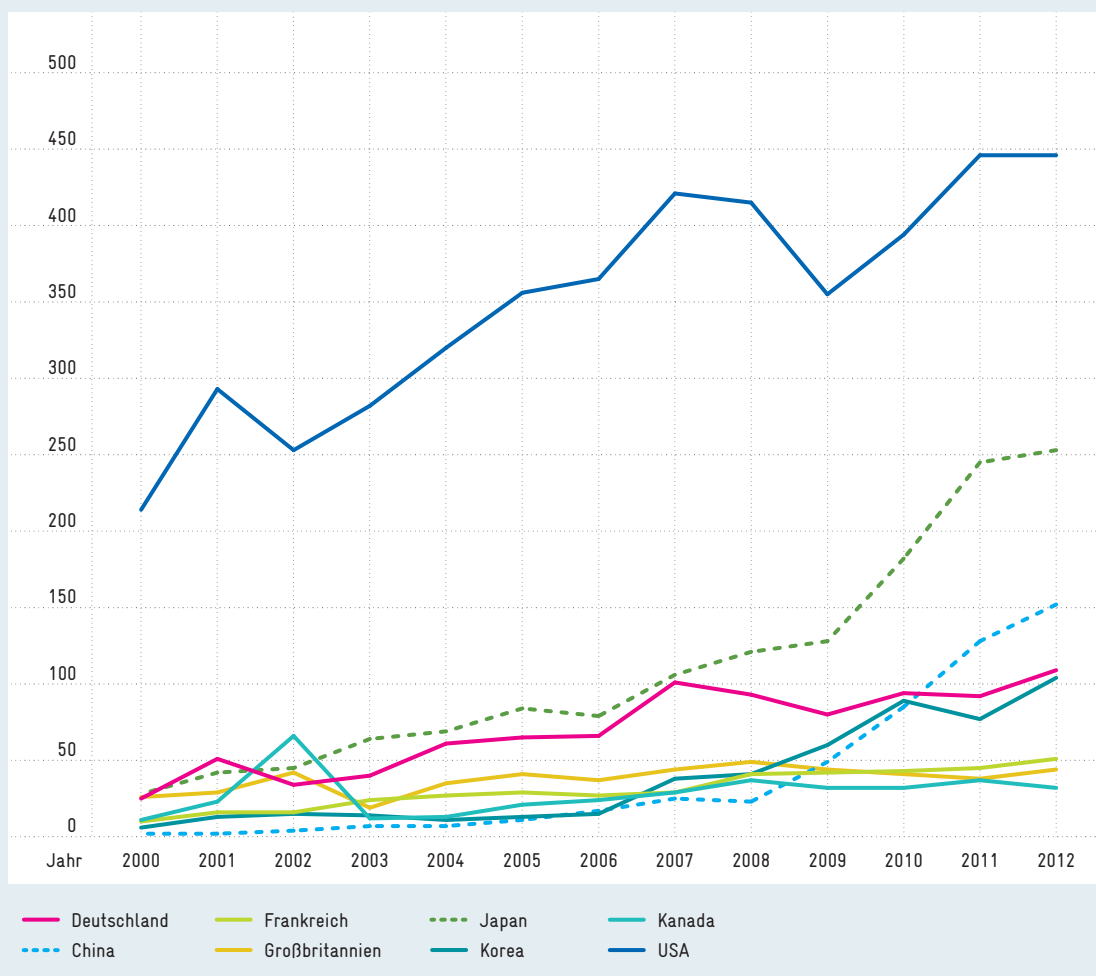
Wissenschaftler im internationalen Vergleich von hoher Qualität gemessen am Hirsch-Index.<sup>289</sup> Lediglich Publikationen in den USA und in Großbritannien weisen hier eine noch höhere Qualität auf.

Die Zahl der wissenschaftlichen Publikationen ist seit dem Jahr 2000 besonders in Italien, Kanada, Japan und China stark angewachsen. Auch in Deutschland wird im Vergleich zu 2000 wesentlich mehr publiziert, jedoch fällt der durchschnittliche Zuwachs im Ländervergleich etwas geringer aus als in den Ländern mit besonders hohem Wachstum.

Abb 06

Download  
Daten

### Entwicklung der Zahl AF-relevanter PCT-Patentfamilien für ausgewählte Länder 2000 bis 2012



Quelle: Datenbank des Europäischen Patentamtes (EPO)-DocDB/INPADOC. Recherchen und Berechnungen der Prognos AG. Anmerkung: Fraktionierte Zählweise.<sup>288</sup>

### Zunahme der international angemeldeten Patentfamilien

Weltweit hat sich die Zahl AF-relevanter<sup>290</sup> PCT-Patentfamilien<sup>291</sup> zwischen den Jahren 2000 und 2012 mehr als verdreifacht (vgl. Infografik zu Kapitelanfang). Den mit Abstand größten Anteil an allen Patentfamilien weltweit im Jahr 2012 nehmen Anmelder in den USA und Japan ein (vgl. Abbildung 6). Anmelder in Deutschland folgen an vierter Position. Auffällig sind die seit 2008 besonders stark wachsenden Patentierungsaktivitäten in Asien.

### B 4–3 Potenziale Additiver Fertigung für Innovation und Produktion

AF ist heute bereits eine wichtige technologische Grundlage in den Innovations- und Produktionsprozessen der Industrie. Dies gilt insbesondere im Prototypenbau in der Produktentwicklung sowie bei der Herstellung von Werkzeugen für die industrielle Fertigung. Die Produktion auf Basis von AF macht es möglich, insbesondere kleine Stückzahlen zu geringeren Kosten als bei traditionellen Verfahren herzustellen.<sup>292</sup> Es reduzieren sich Zeitaufwand und Kosten für die Umsetzung eines neuen Designs in einer nahezu werkzeuglosen Fertigung (Rapid Manufacturing). So ist beispielsweise die Anpassung von Gussformen oder anderen bauteilabhängigen Produktionswerkzeugen nicht mehr notwendig.<sup>293</sup> Stattdessen muss nur das neue, digitalisierte Design, also z. B. eine entsprechende CAD-Datei, ausgetauscht werden. Diese kann beliebig oft sowie an verschiedenen Orten gleichzeitig eingesetzt werden – ohne dass dabei hohe Kosten in der Produktion entstehen.

Der Einsatz von AF stellt eine Prozessinnovation dar, die auch größere Freiräume bei der Entwicklung neuer Produkte eröffnet und eine größere Produktvielfalt ermöglicht. Sie macht die industrielle Herstellung von Produkt- und Teileformen mit erhöhter Komplexität möglich.<sup>294</sup> Designaktivitäten müssen sich nun weniger an technischen Restriktionen orientieren, wie sie bei traditionellen Herstellungsverfahren wie dem Gießen, vorliegen.<sup>295</sup> Aufgrund des Wegfalls produktionstechnischer Restriktionen kann das Produktdesign somit stärker auf Funktionalität und Kundennutzen ausgerichtet werden.

AF erlaubt es Anbietern, stärker auf die individuellen Bedürfnisse von Kunden einzugehen. So erfordern beispielsweise passgenaue Implantate oder Prothesen in der Medizin eine Personalisierung der Produkte,<sup>296</sup>

die durch AF kostengünstig ermöglicht wird. Bereits heute werden z. B. Hörgeräte fast ausschließlich additiv gefertigt.<sup>297</sup> Standardisierte Massenprodukte gehen demgegenüber meist mit Einschränkungen der Einsatzfähigkeit und des individuellen Komforts einher.<sup>298</sup>

### Additive Fertigung als Treiber einer individualisierten Massenproduktion und von Nutzerinnovationen

Durch AF können Unternehmen Kunden einfache Designwerkzeuge anbieten und sie so stärker als bisher mit ihren Präferenzen und ihrem Know-how gestalterisch in den Innovations- und Produktionsprozess einbeziehen. Die Unternehmen können höhere Preise am Markt erzielen, da die Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für selbst entworfene Produkte meist deutlich höher als für handelsübliche Massenprodukte ist.<sup>299</sup> Zugleich kann es gelingen, sich zu geringeren Kosten vom Produktangebot anderer Wettbewerber zu differenzieren. AF kann somit im Zusammenspiel von neuen Dienstleistungen und digitaler Produktion technische und organisatorische Möglichkeiten bieten, um eine individualisierte Massenproduktion zu etablieren.

Konzepte der individualisierten Massenproduktion stützen sich bisher meist auf Modularisierungsansätze. So basiert beispielsweise die Produktion im Automobilbau oft auf standardisierten Modellplattformen, bei denen die Modularisierung – aus Kostengründen – erst zu einem möglichst späten Zeitpunkt in der Herstellung einsetzt. Demgegenüber bietet AF ein flexibleres Verfahren: Kundenwünsche können prinzipiell schnell und in allen Phasen der Wertschöpfung aufgegriffen werden, insbesondere auch in den vorgelagerten Innovationsprozessen.

Neben einer größeren Angebotsvielfalt durch Nischenprodukte kann AF im Verbund mit der fortschreitenden Digitalisierung und Vernetzung in Wirtschaft und Gesellschaft die Entstehung neuer Geschäftsmodelle unterstützen (vgl. Kapitel A 4). AF kann im Zusammenspiel mit Digitalisierung und Vernetzung dazu führen, dass es in Zukunft zu einer vermehrten Dezentralisierung von Produktionsstrukturen kommt und dass die Grenzen zwischen digitaler und physischer Produktion weiter an Schärfe verlieren.<sup>300</sup>

Durch immer kostengünstigere AF-Geräte werden zunehmend auch private Nutzer in die Lage versetzt,



Box 12

### Das Maker Movement

Als Maker Movement bezeichnet man die Gruppe frühzeitiger Technologieanwender (early adopter) und Nutzerinnovatoren (vgl. Kapitel B 3) im Bereich AF. Diese Gruppe ist durch zwei Charakteristika gekennzeichnet. Zum einen verwenden diese Nutzer besonders häufig digitale Werkzeuge und Software, um neue Produkte zu entwerfen und Prototypen zu bauen. Zum anderen sind die Nutzer in dieser Gruppe vielfach bereit, in Online Communities zusammenzuarbeiten und ihre Designs dort – im Sinne einer Open Source-Kultur – auch zu tauschen.

Es lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht exakt beziffern, welche Größe das deutsche und internationale Maker Movement inzwischen erreicht haben und welche Wachstumspotenziale und Dezentralisierungstendenzen

langfristig von diesem ausgehen. Bisher handelt es sich allenfalls um eine überschaubare, aber wachsende Zahl von Einzelnutzern. Allerdings werden AF-Geräte für private Haushalte und Kleinunternehmen, sogenannte Desktop-3D-Drucker, mittlerweile schon ab einem Preis von etwa 500 Euro angeboten. Sie sind damit für vergleichsweise viele Einzelnutzer erstmals erschwinglich geworden.<sup>301</sup> Einer der wichtigsten Hersteller in diesem Bereich von AF war MakerBot, welches inzwischen von Stratasys für mehr als 400 Millionen US-Dollar aufgekauft wurde. MakerBot hatte bis zum Jahr 2013 schon mehr als 22.000 Druckergeräte für den Hausgebrauch abgesetzt.<sup>302</sup>

Auf der weltweit größten Community-Plattform Thingiverse teilen mittlerweile mehr als 130.000 Mitglieder ihre digitalen Designs.

Die Online-Handelsplattform Shapeways bringt seit dem Jahr 2007 eine große Zahl von Designern und Endnutzern zusammen und sie übernimmt mit mehr als 50 eigenen AF-Systemen selbst die Produktion und den Versand der ausgewählten Designs.<sup>303</sup> Monatlich werden dort mehr als 120.000 Druckprodukte verkauft.<sup>304</sup> Zu ihrem Geschäftsmodell gehört es beispielsweise auch, den Nutzern Tutorials zum Erstellen von eigenen Designs anzubieten. Zugleich sind bereits erste eigenständige Unternehmen gegründet worden, die lediglich die Produktionsinfrastruktur von Shapeways nutzen.<sup>305</sup> Dies kann als Beleg gewertet werden, dass AF bereits erfolgreich die Entstehung neuer Geschäftsmodelle und innovativer Dienstleistungen im Internet befördert.

Produkte nicht nur zu modifizieren, sondern sie beispielsweise selbst zu designen, herzustellen und über das Internet zu vertreiben. Somit handeln diese Nutzer ähnlich wie dezentralisiert agierende Mikrounternehmer. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom Maker Movement (vgl. Box 12) der sogenannten Prosumer und Nutzerinnovatoren.<sup>306</sup> Das Maker Movement kann also im Grundsatz zu einer Beteiligung neuer Innovationsakteure und einem vermehrten Eintritt in den Markt führen.

#### Potenzial von Additiver Fertigung für Rückverlagerung von Produktion

Zurzeit wird AF zwar primär für die Herstellung von komplexen Einzelteilen, Prototypen und Kleinserien eingesetzt, in Anbetracht der technischen Entwicklung ist jedoch damit zu rechnen, dass AF in Zukunft auch verstärkt in der Serienproduktion Anwendung findet.<sup>307</sup> Arbeits- und personalintensive

Herstellungsprozesse können durch AF verstärkt automatisiert werden. In Kombination mit der Möglichkeit, Produkte zu individualisieren bzw. Produkte schnell an sich verändernde Kundenpräferenzen anzupassen, sinkt somit die relative Bedeutung von Lohnkosten. Zugleich steigt die Bedeutung der Nähe zum Kunden,<sup>308</sup> was es für Unternehmen attraktiver macht, ihre Produktion nahe an den Käufermärkten und Verbrauchern anzusiedeln. Mittelfristig könnte AF also dazu führen, dass Unternehmen ihre ins Ausland verlagerten Produktionsprozesse wieder zurück nach Deutschland holen (Re-shoring). In einigen Ländern werden die möglichen Auswirkungen als so massiv eingeschätzt, dass sie zur Begründung umfassender AF-Fördermaßnahmen herangezogen werden (vgl. B 4-1).

## Potenzial von Additiver Fertigung für die Hightech-Strategie

Die Expertenkommission sieht AF als eine mögliche Schlüsseltechnologie an. AF kann einen Beitrag zur Lösung der in der neuen Hightech-Strategie (HTS) definierten prioritären Zukunftsaufgaben (vgl. Kapitel A 3) leisten. Zu den zentralen Aktionsfeldern der Zukunftsaufgabe Digitale Wirtschaft und Gesellschaft gehört der Bereich Industrie 4.0. Industrie 4.0 bedeutet, dass Unternehmen ihre Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel zunehmend mittels Cyber-physischer Systeme zu intelligenten Fabriken vernetzen.<sup>309</sup> Mittels dieser digitalen Vernetzung soll die Flexibilisierung und Dezentralisierung von Produktionsprozessen erreicht werden. AF baut auf einer digitalen Basis auf und trägt wie kaum eine andere Technologie zur Flexibilisierung und zur Dezentralisierung von Produktionsprozessen bei.

AF kann daher als eine wichtige technologische Voraussetzung für die Realisierung von Industrie 4.0 betrachtet werden.

Aufgrund der breiten Anwendungsmöglichkeiten von AF im medizinischen Bereich, wie z. B. der Herstellung von individualisierten Medizinprodukten und Bioprinting, kann AF einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der HTS-Zukunftsaufgabe Gesundes Leben leisten. Zum einen können die medizinische Versorgung und die Lebensqualität einer rasch alternden Bevölkerung eher kosteneffizient gesichert werden, zum anderen ergeben sich neue wirtschaftliche Perspektiven für deutsche Unternehmen, da Deutschland sowohl im AF-Bereich als auch in der Medizintechnik und in der Medizinforschung gut aufgestellt ist.<sup>310</sup>

Die Nutzung von AF liefert auch in der Bildung und Ausbildung neue, wichtige Impulse. Mit AF können Lernende frühzeitig an ein neues, designorientiertes Denken herangeführt werden. Die Anwendung von AF kann frühzeitig wichtige, innovationsrelevante Kompetenzen vermitteln und die Begeisterung hierfür wecken. Zusätzlich können die Lernenden in experimentellen Verfahren ein besseres Verständnis in den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaften, Konstruktion sowie Kunst entwickeln.<sup>311</sup> Dies erfordert allerdings, dass die Aus- und Weiterbildung der Lehrenden und die Curricula entsprechend angepasst werden. Zugleich sollten an Schulen und anderen Bildungseinrichtungen die erforderlichen Infrastrukturen zur Verfügung stehen.<sup>312</sup>

## Rechtlicher Rahmen

Mit AF lassen sich Gegenstände schnell und kostengünstig reproduzieren. Hersteller, Designer und Ingenieure von physischen Gegenständen werden sich daher in Zukunft mit ähnlichen Problemen konfrontiert sehen, wie sie die Musik- und Filmbranche bereits seit Jahren kennt: der illegalen Vervielfältigung sowie der kommerziellen und nichtkommerziellen Verbreitung von Produkten.<sup>313</sup> Bei AF kann zudem ein illegales Kopieren patent- oder designgeschützter physischer Produkte auftreten. Daher kann es zu Kollisionen mit allen Rechten des geistigen Eigentums kommen, so dem Patent- und Gebrauchsmusterrecht, dem Urheberrecht sowie dem Marken- und Designrecht.<sup>314</sup>

Um das innovative Potenzial der AF für eine Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung nutzbar zu machen, muss ein Ausgleich zwischen den berechtigten Interessen der Rechteinhaber einerseits und den wachsenden Möglichkeiten von Anwendern und Innovatoren andererseits gefunden werden.

Klärungsbedarf besteht auch hinsichtlich der Frage, inwieweit Hersteller additiv gefertigter Produkte für Mängel haftbar gemacht werden können. Produkthaftung setzt voraus, dass CAD-Dateien im rechtlichen Sinne als Produkte definiert und behandelt werden. Der rechtliche Status von Software – und damit auch von CAD-Dateien – ist allerdings bislang nicht definiert.<sup>315</sup> Doch auch wenn CAD-Dateien als Produkte definiert würden, könnten die Regelungen zur Produkthaftung nur im kommerziellen Bereich Anwendung finden. Dieser lässt sich allerdings nicht immer klar vom nichtkommerziellen Sektor abgrenzen.

Ebenfalls unklar ist, inwieweit ein Dienstleister, der im Auftrag eines Kunden ein Produkt auf Grundlage von dessen CAD-Datei erstellt, für Schäden haftbar ist, die in Folge von Produktmängeln entstehen. Ferner existiert zurzeit kein Gesetz, das die Herstellung und Verbreitung von CAD-Dateien reguliert, mit deren Hilfe verbotene Güter, wie z. B. Waffen, hergestellt werden können.<sup>316</sup>

## Handlungsempfehlungen

AF hat das Potenzial, eine Schlüsseltechnologie zu werden. Als solche kann AF die industrielle Produktion in Deutschland stärken und die Verlagerung von Wertschöpfung und Arbeitsplätzen in andere Länder

begrenzen oder sogar Wertschöpfungsprozesse wieder in Deutschland verankern. Die Expertenkommission empfiehlt daher, die Rahmenbedingungen für AF zu überprüfen und ggf. Forschung in diesem Bereich verstärkt zu fördern. Die Forschungsförderung sollte dabei nicht nur die Technologieanbieter, sondern auch die industriellen Anwender von AF einbeziehen, um gemeinsam Anwendungsfelder auszubauen und zu erschließen.

#### **Akteure und Disziplinen zusammenbringen**

- Die Bundesregierung sollte ihre Koordinationsbemühungen verstärken, Experten unterschiedlicher Disziplinen und Anwendungsbereiche auf Kooperationsplattformen – z. B. Netzwerke und Cluster – zusammenzubringen.
- An den Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sollte die disziplinübergreifende Zusammenarbeit in der Forschung (z. B. mit Materialwissenschaften und Nanotechnologie) durch geeignete Maßnahmen intensiviert und der Transfer in die Praxis weiter unterstützt werden.

#### **Potenziale von Additiver Fertigung für Industrie 4.0 erschließen**

- Im Rahmen der Förderung von Industrie 4.0 sollte auch das Potenzial von AF verstärkt ausgelotet werden.
- Um Informationskosten abzubauen und Lock-in-Effekte zu überwinden, ist ggf. die Diffusion von AF-Technologien auf der Anwenderseite zu unterstützen. So sollte das Thema beispielsweise bei dem in der Digitalen Agenda angekündigten Aufbau von Kompetenzzentren zur Information und Demonstration von Best-Practice-Beispielen für Industrie 4.0 und Smart Services stärker als bisher berücksichtigt werden.<sup>317</sup>
- Derzeit werden Fördermaßnahmen für AF vereinzelt und unsystematisch angeboten. Die Expertenkommission regt an, Fördermaßnahmen für AF in einen stringenten Gesamtrahmen einzubetten.

#### **Standardisierungs- und Rechtsfragen klären – internationale Zusammenarbeit stärken**

- Die Expertenkommission empfiehlt, bislang noch offene Rechtsfragen zur AF – wie die der Haftung – zeitnah zu klären und so die Rechtssicherheit der Innovationsakteure zu erhöhen. Zusätzlich erfordert die hohe Entwicklungsdynamik im AF-Bereich ein kontinuierliches Monitoring der Anpassungsbedarfe im deutschen und europäischen Rechtsrahmen.
- Die Bundesregierung sollte stärkere Anreize für eine Entwicklung von Qualitätsstandards sowie für Prüf- und Zertifizierungsaktivitäten im Bereich von AF-Designs, -Materialien und -Produkten setzen.
- Europäische und außereuropäische Kooperationen in Forschung und Standardisierung sollten verstärkt gefördert werden.

#### **Additive Fertigung im Bildungssystem verankern**

- Kompetenzen für die Nutzung von AF sollten im gesamten Ausbildungssystem vermittelt werden. AF-Technologien sollten nicht nur an Hochschulen, sondern auch in der beruflichen Ausbildung und an Schulen flächendeckend eingesetzt werden. Parallel dazu sind die Lehrenden und Ausbilder entsprechend zu qualifizieren.