

3.1.2 3-D-Druck und Additive Manufacturing (AM)



■ **Stichwörter:** Additive Manufacturing, Ausgangsmaterialien, Betriebssicherheit, individuelle Serienproduktion, Produktsicherheit

> Warum ist das Thema wichtig?

Durch die Entwicklung von cyber-physischen Systemen (CPS)¹ in Verbindung mit spezieller intelligenter Software² ist es mithilfe von additiven Fertigungsverfahren wie 3-D-Druck (4.0-Technologie)³

möglich, relativ schnell und günstig, Einzelstücke (Losgröße 1) herzustellen, die

■ als Anschauungs- und Funktionsprototypen dienen und damit die Markteinführung beschleunigen können oder

■ die Realisierung spezieller Kundenwünsche im Rahmen der individuellen Serienfertigung zulassen.

> Worum geht es bei dem Thema?

Begriffe: Additive Fertigungsverfahren (Manufacturing) – 3-D-Druck

Das additive Fertigungsverfahren (**Additive Manufacturing**) ist die schichtweise Herstellung von Gegenständen, im Gegensatz zum Herausarbeiten von

Werkstücken aus einem festen Block, zum Beispiel Fräsen.

Der **3-D-Druck** ist ein Arbeitsverfahren für additive Fertigung. Der schichtweise Aufbau erfolgt computergesteuert aus einem

oder mehreren flüssigen oder festen Werkstoffen nach zuvor programmierten Maßen und Formen. Beim Aufbau finden physikalische oder chemische Härtings- oder Schmelzprozesse statt.

Grundprinzipien von additiven Fertigungsverfahren

Es gibt eine ganze Reihe von unterschiedlichen additiven **Fertigungsverfahren**, wie zum Beispiel:

- **Thermischer 3-D-Druck:** Verflüssigter Kunststoff wird aufgetragen und härtet bei Abkühlung aus.
- **Selektives Lasersintern beziehungsweise selektives Laserschmelzen:** Pulverschichten aus Kunststoff oder Metall werden durch Wärmeeintrag selektiv aufgeschmolzen.
- **3-D-Druck:** Materialverteilung (zum Beispiel Quarzsand, Glas, Kunststoff) wird durch Bindemittelauftrag fixiert.
- **Laminierverfahren:** Schichtaufbau beispielsweise aus farbig bedruckten Materialbögen (zum Beispiel Papier, Kunststoff), die verklebt und zugeschnitten werden.
- **Polyjet Modeling:** Tröpfchenweises

Aufbringen von Material, welches dann aushärtet (Fotopolymer und UV-Strahlung).

■ **Stereolithografie und Digital Light Processing:** Fotopolymer wird durch gezielte UV-Strahlung in einem Flüssigkeitsbad ausgehärtet.⁴

Die **Ausgangsmaterialien** für das additive Fertigen können Kunststoffe, Metalle, Keramik oder auch Nahrungsmittel sein, die – je nach Verfahren – in verschiedenen Zuständen vorliegen: als Pulver, Draht, Folie, Paste, Flüssigkeit oder Gas.⁵

Kunststoffe sind mit ihren extrem unterschiedlichen Eigenschaften ideal für additive Fertigungsverfahren. Eines der am weitesten verbreiteten Verfahren zur Verarbeitung von Kunststoffen ist das Schmelzschichtverfahren. Aber auch **Metalle**, die einen wesentlich höheren Schmelzpunkt

besitzen, werden in der additiven Fertigung verarbeitet. Da für Metall wesentlich höhere Energieeinträge notwendig sind, kommen hier technisch aufwendige und teure Hochleistungslasersysteme zum Einsatz. Schließlich werden auch **Keramiken**, die einen höheren Schmelzpunkt als Metalle besitzen, mit additiven Fertigungsverfahren verarbeitet.⁶ Die Arbeitsprozessplanung der additiven Fertigungsverfahren und die Steuerung von 3-D-Druckern können hochvariabel auch von autonomen technischen Systemen übernommen werden (4.0-Prozesse).⁷

Ganz generell unterscheiden sich die verschiedenen Verfahren sehr stark in ihren Funktionsprinzipien und Eigenschaften wie auch hinsichtlich der Eigenschaften der damit gefertigten Produkte.

Additive Fertigungsverfahren werden in **zahlreichen Branchen** eingesetzt, beispielsweise:

Diese Umsetzungshilfe gibt Experten und Interessierten Anregungen, wie Arbeit 4.0 zu gestalten ist. Die Empfehlungen sollten an die jeweilige konkrete betriebliche Situation angepasst werden.

¹ Cyber-physische Systeme (CPS) verbinden und steuern als autonome technische Systeme Arbeitsmittel, Produkte, Räume, Prozesse und Menschen beinahe in Echtzeit. Die komplette oder teilweise Steuerung übernimmt intelligente Software auf Grundlage von Modellen der künstlichen Intelligenz. Genutzt werden dazu unter anderem auch Sensoren/Aktoren, Verwaltungsschalen, Plattformen/Clouds.

² Intelligente Software steuert cyber-physische Systeme (CPS) und andere autonome technische Systeme (wie Messenger-Programme). Intelligente Software nutzt Modelle künstlicher Intelligenz zusammen mit anderen Basistechnologien wie zum Beispiel Algorithmen, semantischen Technologien, Data-Mining. Intelligente Software ist autonom und selbstlernend.

³ 4.0-Technologie bezeichnet hier Hardware und technologische Produkte (wie Assistenzmittel/Smartphones, Sensoren/Aktoren in smarten Arbeitsmitteln, Fahrzeugen, Produkten, Räumen usw., smarte Dienstleistungen, Apps), die von intelligenter Software (inkl. KI) ganz oder teilweise gesteuert werden.

⁴ vgl. BG ETEM 2018; IFA 2016, S. 20

⁵ Deutscher Bundestag 2017, S. 14

⁶ Deutscher Bundestag 2017, S. 15

⁷ Unter 4.0-Prozessen werden hier alle Arbeitsprozesse verstanden, in denen cyber-physische Systeme (CPS) oder andere autonome technische Systeme (wie Plattformen, Messenger-Programme) beteiligt sind. 4.0-Prozesse sind in den Arbeitsprozessen bisher selten vollständig, aber in Ansätzen in allen Betrieben umgesetzt.

- In der Elektronik werden zum Beispiel metallische Leiterbahnen auf dreidimensionale (konventionell oder additiv gefertigte) Kunststoffkörper aufgebracht.
- In der Medizin finden additive Fertigungsverfahren zum Beispiel in der Dental- und Hörgerätetechnik oder im Prothesenbereich Anwendung, etwa zur Herstellung von Zahnersatz, Ohrpassstücken oder knochenersetzenden Implantaten. Auch in Bereichen, die schnell ethisch problematisch werden können, wie dem Bioprinting, werden additive Verfahren verwendet. Bei diesen wird versucht, funktionsfähige Gewebeteile bis hin zu Gefäßsystemen oder Organen zu produzieren.
- Im Baubereich werden Funktionsmodelle oder Prototypen und Bauteile additiv gefertigt.
- In der Textil- und Bekleidungsindustrie werden individuelle Kleidungsstücke additiv hergestellt. Die Schuhindustrie versucht, mit additiven Fertigungsverfahren für jeden Fuß und jede Anwendung passgenaue Schuhe herzustellen.
- In der Nahrungsmittelindustrie werden mit additiven Verfahrensprinzipien pastöse Nahrungsmittel (Teige, Pürees, Marzipan et cetera) oder gekochte Gerichte, die püriert und mit Texturgebern zu einer pastösen Konsistenz angedickt werden (zum Beispiel Gemüse oder Fleisch) hergestellt. Mit pulverförmigen Lebensmitteln (wie Zucker, Mehl) lassen sich mit flüssigen Bindern (zum Beispiel Wasser) filigrane Figuren formen.

Außerdem werden 3-D-Druckverfahren im Werkzeugbau, in der Luft- und Raumfahrt, der Spielwarenindustrie, in den Kreativbranchen (Designerstücke, Schmuck- und Uhrenindustrie, Theater-, Film- und Fernsehindustrie für Kulissen, Masken), in der Sportartikelindustrie, der Wissenschaft und Ausbildung sowie in der Rüstungs- und Waffenindustrie verwendet.

Sicherheit und Gesundheit beim 3-D-Druck

Additive Fertigungsverfahren tragen dazu bei, dass einige **Gefahren entfallen**, die bei vergleichbaren konventionellen Arbeitsverfahren bestehen. Beispielsweise werden keine Kühlschmiermittel benötigt, die zur Anreicherung von gesundheitsschädigenden Ölen in der Atemluft führen können. Auch sinkt die Gefahr von Schnittverletzungen, zum Beispiel an scharfkantigen Spänen oder Schneidwerkzeugen. Schließlich sind die Lärmemissionen bei der additiven Fertigung zu vernachlässigen.⁸

Eine grundlegende Anforderung der Arbeitssicherheit an die 3-D-Drucker besteht darin, dass sie – wie alle Arbeitsmittel – betriebssicher sein müssen. ▶ *Siehe Umsetzungshilfe 3.1.1 Betriebssicherheit der CPS.*

Bei additiven Fertigungsverfahren können aber auch einige **neue Gefahren** entstehen, wie zum Beispiel durch den Einsatz von Gefahrstoffen, die Entstehung von feinen Stäuben oder Verpuffungsbeziehungsweise Explosionsgefahren.⁹ Die bei additiven Fertigungsverfahren entstehenden Gefahren lassen sich in der Regel beherrschen, wenn die bestehenden Arbeitsschutzmaßnahmen eingehalten (wie zum Beispiel Gefährdungsbeurteilung, Unterweisung) und entsprechende Schutzmaßnahmen festgelegt und durchgeführt werden, wie zum Beispiel das Tragen von Persönlicher Schutzausrüstung. Im Folgenden werden einige Gefährdungen etwas genauer betrachtet.

Gefahren können durch die sehr unterschiedlichen Arbeitsmaterialien entstehen, die beim 3-D-Druck verwendet werden und teilweise **Gefahrstoffe** enthalten. Verwendet werden beispielsweise thermoplastische Kunststoffe (etwa ABS, PLA, Polycarbonate), Fotopolymere (Epoxid- oder Acrylharze) oder pulverförmige Kunststoffe (wie Nylon, Polystyrole) und diverse Bindemittel. Einige dieser Kunststoffe gehören zu den reizenden Stoffen, die bei Kontakt mit Haut, Augen oder Schleimhäuten Rötungen oder Ent-

zündungen auslösen können.¹⁰ Bei der Stereolithografie werden Fotopolymere verwendet, die zur Auflösung von roten Blutkörperchen führen können.¹¹ Für einige neu entwickelte Materialien werden mögliche gesundheitliche Wirkungen vermutet, können aber noch nicht nachgewiesen werden.¹² Bei der additiven Fertigung kommen auch einige Lösungsmittel zur Nachbearbeitung gefertigter Bauteile zum Einsatz, die bei Augenkontakt Reizungen auslösen können.

Bei pulverbasierten additiven Fertigungsverfahren können bei verschiedenen Arbeitsschritten **Pulverpartikel** in die Raum- beziehungsweise Atemluft gelangen. Dies kann beim Befüllen der additiven Fertigungsanlagen, bei der Entnahme und Reinigung fertiger Bauteile sowie der Aufbereitung von Pulver mithilfe von Sieben geschehen.¹³ Zu berücksichtigen ist darüber hinaus die Explosionsgefahr, die von Pulver-Luft-Gemischen aus Kunststoffen oder Metallen ausgehen kann.¹⁴

Beim Aufschmelzen von Kunststoffen entstehen typischerweise flüchtige organische Verbindungen und/oder **ultrafeine Stäube**, die potenziell gesundheitsschädlich sein können. Das Gefährdungspotenzial bestimmt sich aus der Toxizität der Stäube, der Konzentration in der Atemluft und der Einwirkungsdauer.¹⁵

Fehlerhafte Produkte aus additiver Fertigung

In der additiven Fertigung können auch fehlerhafte Produkte in Umlauf geraten, durch die Personen oder Gegenstände zu Schaden kommen. Vorsätzlich kann dies eintreten, wenn etwa digitale Vorlagen für die additive Fertigung manipuliert werden. Dies kann beispielsweise dann geschehen, wenn beim Datentransfer Dritte in die Unterlagen eingreifen (zum Beispiel um Wettbewerber zu schwächen, Wirtschaftssabotage, terroristisch motivierte Handlungen).¹⁶

Fehlerhaft additiv gefertigte Produkte können aber auch unbeabsichtigt produziert und verbreitet werden, weil die festgelegten Anforderungen an die Pro-

⁸ Deutscher Bundestag 2017, S. 173

⁹ Deutscher Bundestag 2017, S. 172f.

¹⁰ Deutscher Bundestag 2017, S. 172

¹¹ Gebhardt 2015, S. 52f.

¹² Huang et al. 2013, S. 1199f.

¹³ vgl. VDI 2016, S. 31; Azimi 2016

¹⁴ VDI 2016, S. 31

¹⁵ Deutscher Bundestag 2017, S. 175

¹⁶ Deutscher Bundestag 2017, S. 185

duktsicherheit nicht beachtet werden. Auch additiv gefertigte Produkte dürfen „bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung die Sicherheit und Gesundheit von Personen nicht gefährden“.¹⁷ Deswegen sind bei diesen Verfahren auch Gefährdungsbeurteilungen vorzunehmen. ▶ *Siehe Umsetzungshilfe 2.2.2 Gefährdungsbeurteilung 4.0.* Bei den additiven Fertigungsverfahren treten aus der Sicht der Produktsicherheit einige neue Aspekte auf, die vom Betrieb berücksichtigt werden sollten, wie zum Beispiel:

- Bei der additiven Fertigung sind in der Regel mehr Akteure am Herstellungsprozess beteiligt als in der konventionellen Fertigung. So wird beispielsweise die Erstellung von digitalen Fertigungsverfahren oder der additive Fertigungsprozess ausgelagert. Damit wird es oft schwierig, den eigentlichen

Hersteller des Produktes zu benennen und die Verantwortlichkeiten für die Produktsicherheit klar zu regeln (wie bereits bei einigen CNC-Programmen der 3.0-Prozesse).¹⁸ Außerdem sind Konstruktion und Fabrikation nicht immer klar voneinander zu trennen, da digitale Fertigungsverfahren – deren Erstellung eher der Konstruktionsphase zuzurechnen ist – die wesentlichen Fabrikationselemente bereits enthalten.¹⁹ Das hat auch Auswirkungen auf das Haftungsrecht.²⁰ ▶ *Siehe Umsetzungshilfe 1.3.5 Hersteller- und Unternehmerverantwortung in 4.0-Prozessen.*

- Die Herstellerpflichten zur Produktsicherheit basieren auf standardisierten Dokumentationspflichten oder Sicherheitsüberprüfungen. Für die individualisierte additive Produktion von Einzelstücken sind diese oft nur schwer

einzuhalten.²¹ Auch gängige Methoden zur Qualitätssicherung, wie zerstörende Bauteilprüfungen oder zerstörungsfreie Mess- und Prüfverfahren, sind bei Einzelanfertigungen nicht oder nur mit großem Aufwand anwendbar.²² Zur Schaffung rechtssicherer Verfahren wird momentan ein entsprechendes Regelwerk erarbeitet.

- In der extrem variablen Bauteilgeometrie und der Möglichkeit, in Serienproduktionen jedes einzelne Produkt mit individuellen Merkmalen auszustatten, liegt das Potenzial der additiven Fertigung, aber gleichzeitig auch das Risiko für Mängel in der Konstruktion. Wenn die neuen Designfreiheiten ohne die erforderliche Sorgfalt angewendet beziehungsweise über Gebühr ausgereizt werden, kann dies zu Fehlern in der Konstruktion führen.²³

▶ Welche Chancen und Gefahren gibt es?

Additive Fertigungsverfahren bieten zahlreiche Chancen, jedoch auch Risiken, die im Folgenden erläutert werden:

Chancen der Nutzung von additiven Fertigungsverfahren sind unter anderem:

- Produkte können individuell und bedarfsorientiert hergestellt werden durch individualisierte Veredelung von Produkten aus Serienfertigung.
- Additiv hergestellte Produkte lassen in der Regel eine Leichtbauweise, gesteuerte Materialeigenschaften und gestalterische Freiheiten zu.
- Herstellung und Lieferung ist just in time möglich. Damit verringern sich die Lagerhaltung und die damit verbundenen Kosten.
- Hohe Materialeffizienz und geringerer Werkzeugverschleiß im Fertigungsprozess sind möglich.
- Ersatzteile für Reparaturen sind schnell lieferbar. Das Drucken individueller Ersatzteile ist schneller, flexibler und günstiger als herkömmliche Herstellungsverfahren (im Rahmen der Serienproduktion).
- Eine Dezentralisierung ist möglich und damit eine Einsparung von Lieferketten bei kleinen Losgrößen.

- Extrem komplexe Geometrien, die eine Vielzahl von Einzelkernen erfordern, sind einfacher herstellbar.

- Verbesserungen können leicht berücksichtigt werden.

- Entwicklungszeiten können verkürzt werden.

- Bauteile und Gegenstände können originalgetreu nachgebildet werden.

- Kein Einsatz von Kühl- oder Schmiermitteln wie bei vergleichbaren konventionellen Arbeitsverfahren.

Gefahren und Nachteile bei der Nutzung von additiven Fertigungsverfahren können zum Beispiel sein:

- Die Materialeigenschaften der Produkte können unbekannt sein.

- Insbesondere beim Lasersintern, Laser-Strahlschmelzen und verwandten aufschmelzenden Verfahren entstehen thermisch induzierte Eigenspannungen im Bauteil.

- Gefährdungen durch den Einsatz von Gefahrstoffen, durch die Entstehung von feinen Stäuben oder durch Verpuffung beziehungsweise Explosion sind möglich.

- Möglich sind Gefährdungen durch mangelhafte Betriebssicherheit, wie beispielsweise gefahrbringende Bewegungen, die zu Quetsch- und Scherstellen führen können, gefährliche Berührungsspannungen, heiße Oberflächen oder Strahlungsquellen von Lasern.

- Da die Verantwortlichkeiten im digitalen additiven Fertigungsverfahren nicht eindeutig festgeschrieben sind, kann es zu Konflikten im Ablauf und zu Haftungsproblemen kommen.

- Bei von 3-D-Druckern hergestellten Produkten können wegen Individualisierung eher Fehler auftreten. Die Qualitätssicherung von individuell von 3-D-Druckern hergestellten Produkten kann Probleme bereiten, da in der Regel keine standardisierten Verfahren vorliegen (fehlende Referenzwerte in Planung und Konstruktion, nicht auf additive Fertigungsverfahren abgestimmte Softwaretools).

- Im digitalen additiven Fertigungsverfahren besteht die Gefahr durch Angriffe von Dritten (fehlende Datensicherheit).

¹⁷ § 3 Abs. 2 ProdSG

¹⁸ Deutscher Bundestag 2017, S. 201

¹⁹ Deutscher Bundestag 2017, S. 204

²⁰ Deutscher Bundestag 2017, S. 203

²¹ Deutscher Bundestag 2017, S. 201

²² VDI 2016, S. 30

²³ Bundestag 2017, S. 203

› Welche Maßnahmen sind zu empfehlen?

Bei der Einführung und dem Einsatz von additiven Fertigungsverfahren sind unter anderem folgende Maßnahmen empfehlenswert:

Einführung von additiven Fertigungsverfahren

- Überlegen, welche Vor- und Nachteile der Einsatz von additiven Fertigungsverfahren hat. Einen Mehrwert bieten insbesondere folgende Merkmale:²⁴
 - › Senkung der Betriebskosten
 - › Steigerung der Produktivität
 - › Steigerung des Kundennutzen
 - › Senkung des Montageaufwands und der Bauteilanzahl
 - › Senkung des Aufwandes für Maßnahmen zu Sicherheit und Gesundheit bei den Arbeitsverfahren
 - › Senkung der Nebenkosten (zum Beispiel Lagerhaltung oder Ausschuss)
 - › Senkung der Kosten für Logistik
- Festlegen, wo der additive Fertigungsprozess stattfinden soll („make or buy“).
- Informationen über Materialeigenschaften der Rohstoffe (Produkt- und Sicherheitsdatenblätter der Hersteller) und der fertigen Bauteile (zum Beispiel VDI-Richtlinie 3405) einholen.
- Offene Rechtsfragen klären, unter anderem:
 - › Wer übernimmt die Herstellerfunktion (im Sinne der Produkthaftung), wenn mehrere Akteure an der Her-

stellung des Bauteils beteiligt sind?

- › Welche Rolle spielt der Lieferant der Konstruktionsdatei, da er einen bedeutenden Einfluss auf das Produkt hat?
- › Wie werden Qualitätskriterien festgelegt und überprüft?
- › Was muss hinsichtlich des Urheberrechts oder des Patentschutzes berücksichtigt werden?
- Nur Komponenten additiver Fertigungssysteme anschaffen, wenn sie über ein CE-Zeichen verfügen.
- Zum Umgang mit den Daten in den 4.0-Prozessen sollte unter anderem Folgendes geregelt werden:
 - › Welche Daten werden wie und wo erfasst und wo werden sie gespeichert?
 - › Wer hat Zugriff auf die Daten und wofür werden die Daten genutzt?
 - › *Siehe Umsetzungshilfe 2.5.3 Plattformökonomie.*
 - › Welchen Zugriff haben Hersteller oder Dritte im additiven Fertigungsprozess?
 - › *Siehe Umsetzungshilfe 2.3.1 Datensicherheit in 4.0-Prozessen.*
 - › Es sollte mit den Beschäftigten (der Interessenvertretung) vereinbart werden, wie mit den Daten umgegangen wird.
 - › *Siehe Umsetzungshilfe 2.3.4 Betriebsvereinbarungen und Dienstvereinbarungen zu 4.0-Prozessen.*

Verwendung von additiven Fertigungsverfahren

- Bei der Planung des Arbeitsprozesses zum Einsatz des 3-D-Druckers sind die Verantwortlichkeiten und Schnittstellen im additiven Fertigungsprozess festzulegen.
 - Bei einer Gefährdungsbeurteilung zur Tätigkeit mit 3-D-Druckern und eingesetzten Materialien sollte unter anderem beachtet werden:
 - › Umgang mit Gefahrstoffen
 - › Verpuffungen oder Explosionsgefahr
 - › Betriebssicherheit des Druckers
 - › Schnittstellenprobleme, da die Grenzen zwischen Konstruktion und Produktion verwischen können
 - › Notwendige Unterweisung zum sicheren und gesundheitsgerechten Umgang mit neuen Arbeitsformen und -inhalten
- Die festgelegten Schutzmaßnahmen sind umzusetzen und zu dokumentieren, die Wirksamkeitskontrolle ist festzulegen.²⁵ › *Siehe Umsetzungshilfe 2.2.2 Gefährdungsbeurteilung 4.0.*
- Beschäftigte sind im Umgang mit additiven Fertigungsverfahren zu unterweisen und zu trainieren.
 - Prüffristen und Prüfer zum betriebssicheren Zustand des 3-D-Druckers und gegebenenfalls seiner Komponenten festlegen und Prüfungen organisieren und durchführen.

Quellen und weitere Informationsmöglichkeiten:

Azimi, P., Zhao, D., Pouzet, C., Crain, N. E., & Stephens, B. (2016). *Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments*. *Environmental Science & Technology*, 50, S. 1260–1268.

Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) (2018). *3D-Druck/Additive Manufacturing*. <https://www.bgetem.de/arbeits-sicherheits-gesundheitsschutz/brancheninformatio-nen1/druck-und-papierverarbeitung/3d-druck-additive-fertigungsverfahren>. Zugegriffen: 24.08.2018.

Deutscher Bundestag (2017). *Technikfolgenabschätzung (TA) Additive Fertigungsverfahren „3-D-Druck“*. Drucksache 18/13455, Berlin. <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/18/134/1813455.pdf>. Zugegriffen: 24.08.2018.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (2017). *Exposition bei additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck)*. Berlin: DGUV.

Gebhardt, A. (Hrsg.). (2015). *3D-Drucken in Deutschland: Entwicklungsstand, Potenziale, Herausforderungen, Auswirkungen und Perspektiven*. Aachen: Shaker Verlag.

Huang, S., Liu, P., Mokasdar, A., & Hou, L. (2013). *Additive manufacturing and its so-*

cial impact: a literature review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 67 (5-8), S. 1191–1203.

Institut für Arbeitsschutz (IFA) (2016). *Additive Fertigungsverfahren werden die gesamte Produktion auf den Kopf stellen*. IPA-Journal 03, 18-20. https://www.ipa-dguv.de/medien/ipa/publikationen/ipa-journale/ipa-journale2016/documents/ipa_journal_1603_interview.pdf. Zugegriffen: 24.08.2018.

ProdSG – Produktsicherheitsgesetz, 08.11.2011.

²⁴ VDI 2016, S. 22

²⁵ Die DGUV wird Mustervorlagen für Gefährdungsbeurteilungen zu additiven Fertigungsverfahren vorlegen (DGUV 2017)

VDI (2016). *Handlungsfelder Additive Fertigungsverfahren*. Düsseldorf. www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/6242_PUB_GPL_Handlungsfelder_-_Additive_Fertigungsverfahren_Internet.pdf. Zugegriffen: 12.06.2018.

VDI-Richtlinie 3405 Blatt 6.1 *Additive Fertigungsverfahren – Anwendersicherheit beim Betrieb der Fertigungsanlagen – Laser-Strahlschmelzen von Metallpulvern*.

VDI-Richtlinie 3405 Blatt 6.2 *Additive Fertigungsverfahren – Anwendersicherheit beim Betrieb der Fertigungsanlagen – Laser-Sintern von Polymerpulvern*.

Zu diesem Thema könnten Sie auch folgende weitere Umsetzungshilfen interessieren:

- 1.3.5 Hersteller- und Unternehmerverantwortung in 4.0-Prozessen
- 2.2.2 Gefährdungsbeurteilung 4.0
- 2.3.1 Datensicherheit in 4.0-Prozessen
- 2.3.2 Datenschutz in 4.0-Prozessen
- 2.3.3 Datenqualität in 4.0-Prozessen
- 2.3.4 Betriebsvereinbarungen und Dienstvereinbarungen zu 4.0-Prozessen
- 2.5.3 Plattformökonomie
- 3.1.1 Betriebssicherheit der CPS



**OFFENSIVE
MITTELSTAND**
GUT FÜR DEUTSCHLAND

Herausgeber: „Offensive Mittelstand – Gut für Deutschland“ – Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“ Kurfürsten-Anlage 62, 69115 Heidelberg, E-Mail: info@offensive-mittelstand.de; Heidelberg 2019

© Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“, 2019 Heidelberg. Gemeinsam erstellt von Verbundprojekt Prävention 4.0 durch BC GmbH Forschung, Institut für Betriebliche Gesundheitsförderung BGF GmbH, Forum Soziale Technikgestaltung, Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. – ifaa, Institut für Mittelstandsforschung Bonn – IfM Bonn, itb – Institut für Technik der Betriebsführung im Deutschen Handwerksinstitut e. V., Sozialforschungsstelle Dortmund – sfs Technische Universität Dortmund, VDSI – Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e. V. – gefördert vom BMBF – Projektträger Karlsruhe