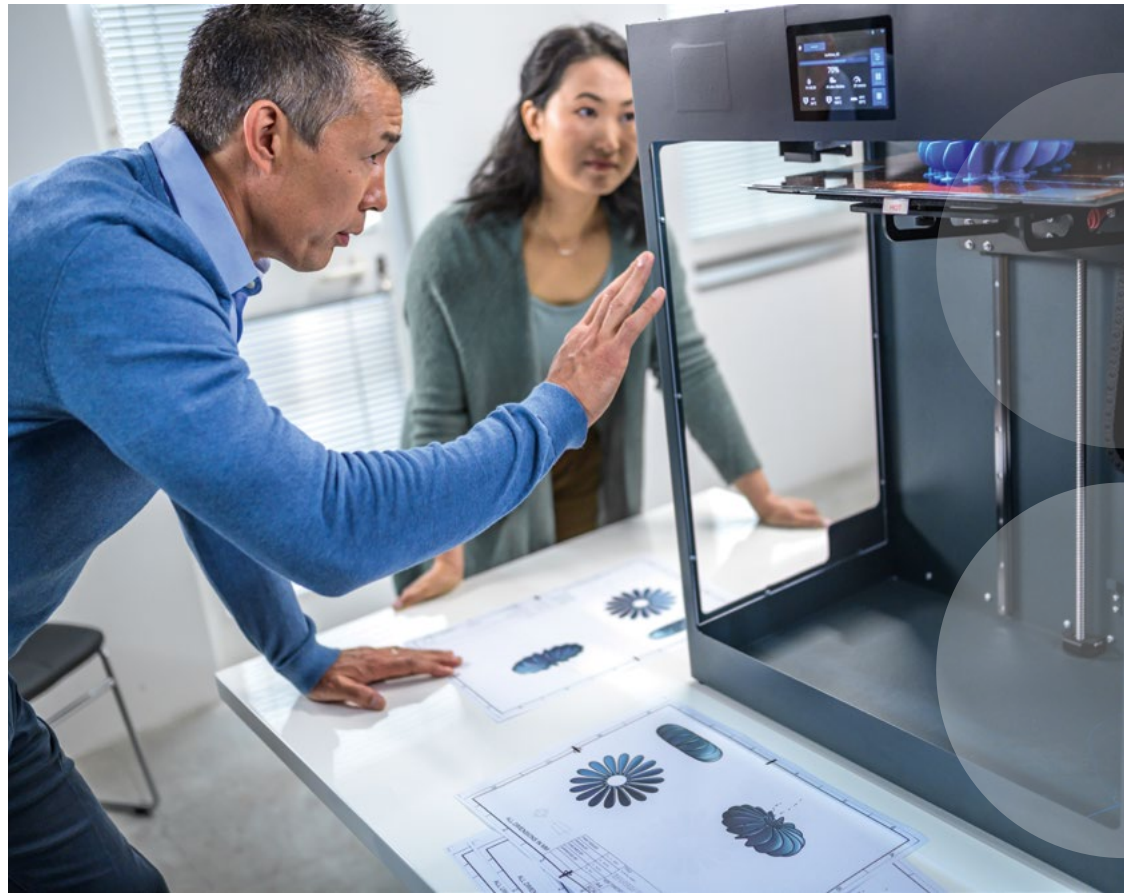


Arbeitsschutz
kompakt



Sicherheit und Gesundheit beim Arbeiten mit 3D-Druckern

Informationen zu Anforderungen und
zur Umsetzung in die Praxis

Inhalt

Einleitung: Erfolgsgeschichte 3D-Druck	1
Überblick: 3D-Druck heute	2
• Entwicklung des 3D-Drucks	2
• Einsatz in der Industrie	3
• <i>Tabelle: additive Verfahren und ihre Ausgangsmaterialien</i>	3
• <i>Illustration: Poly-Jet-Modelling</i>	4
• <i>Illustration: Laser-Strahlschmelzen</i>	4
• Einzelne Verfahren im Detail	5
Anschaffung: 3D-Drucker kaufen	6
• Technische Dokumentation	6
• Die Gefährdungsbeurteilung beginnt vor dem Kauf	6
• <i>Tabelle: Unterschiede zwischen GS- und CE-Zeichen</i>	7
Gefährdungen: 3D-Drucker betreiben	8
• Partikelförmige Gefahrstoffe (Stäube)	8
• <i>Grafik: Teilchengrößenverteilung nach DIN EN 481</i>	9
• Flüssige und gasförmige Gefahrstoffe	9
• Weitere Gefährdungen	10
Maßnahmen: 3D-Drucker sicher betreiben	11
• Maschinen richtig bedienen	11
• Persönliche Schutzausrüstung für die Arbeit mit Pulver	11
• Richtiges Reinigen	12
• Arbeiten mit flüssigen Gefahrstoffen	12
• Entsorgung	12
Die BG ETEM	13
Weitere Informationen	13
Übersicht über 3D-Druckverfahren	14

Bildnachweis:

Titel: [iStock.com/vm-1297659752](https://www.iStock.com/vm-1297659752)

Seite 1: [iStock.com/cookelma-686518856](https://www.iStock.com/cookelma-686518856)

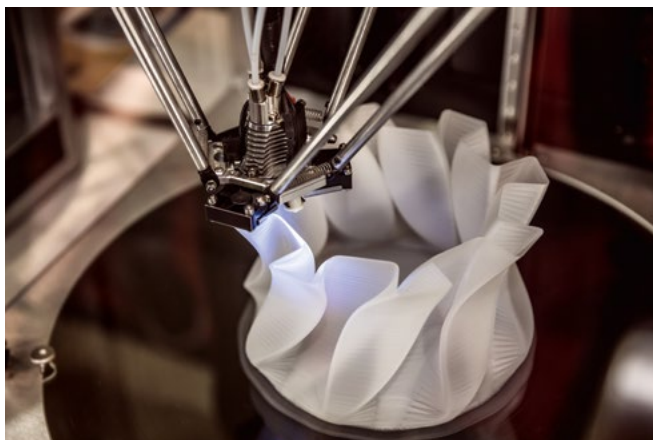
Seite 5: [mari1408/stock.adobe.com-212338443](https://www.mari1408/stock.adobe.com-212338443)

Seite 8: Siemens AG, München

Seite 10: Bosch Rexroth AG

Seite 12: [PHOTOLIFESTYLE/stock.adobe.com-342971071](https://www.PHOTOLIFESTYLE/stock.adobe.com-342971071)

Illustrationen: Jörg Block/BG ETEM



Erfolgsgeschichte 3D-Druck

3D-Druck ist in den letzten Jahren sehr populär geworden. In der Wirtschaft und in privaten Haushalten wird die Technik inzwischen häufig genutzt. Was steckt hinter diesem großen Erfolg? Zum einen ist es eine faszinierende Technologie. Die Möglichkeit, Objekte einfach auszu-drucken und dennoch sehr komplexe Strukturen herstellen zu können, ist beeindruckend und regt Fantasie und Kreativität der Nutzer an. Zum anderen gibt es für Unternehmen aber auch ein paar handfeste Vorteile: Objekte lassen sich mittels 3D-Druck schnell und einfach herstellen, für Einzelobjekte und Kleinserien ist die Technik oft wirtschaftlich anderen Verfahren überlegen. 3D-Druck ermöglicht so eine individuelle und nachhaltige Produktion.

Doch auch Sicherheit und Gesundheit müssen mit dieser Entwicklung Schritt halten. Hinter dem umgangssprachlichen Begriff 3D-Druck verbergen sich eine Reihe verschiedener Fertigungsverfahren. Sie alle sind in der Lage, dreidimensionale Objekte Schicht für Schicht aufzubauen und verwenden dazu ganz unterschiedliche Ausgangsmaterialien. Da es so viele verschiedene Fertigungsverfahren gibt, gibt es auch verschie-

denste Gefährdungen. Um diese zu vermeiden, ist ein sachgemäßer Umgang mit 3D-Druckern und deren Werkstoffen notwendig.

In dieser Broschüre bekommen Sie einen Überblick über den 3D-Druck aus Sicht des Arbeits- und Gesundheitsschutzes. Sie erfahren, welche Verfahren heute genutzt werden, was Sie beachten müssen, wenn Sie eine Maschine anschaffen wollen, welche Gefährdungen es gibt und welche Maßnahmen Sie für den sicheren Betrieb ergreifen sollten. Die in dieser Broschüre verwendeten Bezeichnungen für die unterschiedlichen Verfahren sind aus der VDI 3405 entnommen. Eine Übersicht der in der DIN EN ISO/ASTM 52900 beschriebenen Prozesskategorien zu den Begrifflichkeiten aus der VDI 3405 finden Sie im Anhang übersichtlich in einer Tabelle.

3D-Druck wird in der Wirtschaft eine immer größere Rolle spielen. Wir als Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse stehen Ihnen als Partner zur Seite, damit Sie diese vielversprechende Technik sicher in Ihrem Betrieb einsetzen können. Sprechen Sie uns einfach an!

3D-Druck heute

Der umgangssprachliche Begriff 3D-Druck bezeichnet mehrere unterschiedliche Fertigungsverfahren. Welche Verfahren sind das, und wie funktionieren sie?

Als 3D-Druck bezeichnete Verfahren verfolgen das Ziel, dreidimensionale Objekte Schicht für Schicht aufzubauen. Deshalb werden sie fachsprachlich **additive** Verfahren genannt. Es gibt auf dem Markt eine Vielzahl von Verfahren, die sich für ganz unterschiedliche Ausgangsmaterialien eignen. Die Ausgangsmaterialien kommen dabei auch in verschiedenen Formen zum Einsatz – zum Beispiel als Pulver, Flüssigkeit oder Draht (siehe auch die Tabelle auf Seite 3).

Allen Verfahren gemeinsam ist das sogenannte Schichtbauprinzip. Es beruht auf der Annahme, dass alle Objekte in Scheiben geschnitten und somit auch aus Scheiben aufgebaut werden können. Um ein Objekt additiv zu fertigen, sind mehrere Arbeitsschritte erforderlich. Sie lassen sich in drei Hauptprozesse unterteilen:

- Pre-Prozess (Vorbereitung): Zu den arbeitsvorbereitenden Schritten gehören zum Beispiel die Daten- und Anlagenvorbereitung.
- In-Prozess (Druckprozess): Das Objekt wird schichtweise aufgebaut.
- Post-Prozess (Nachbearbeitung): Die fertigen Objekte werden von eventuell vorhandenen Stützkonstruktionen getrennt und die Oberflächen bei Bedarf nachbearbeitet.

Je anspruchsvoller die spätere Anwendung, umso mehr Nachbearbeitungsschritte fallen in der Regel an. 3D-Drucken ohne weitere Nachbearbeitung ist nur in Ausnahmefällen möglich. Besonders beim industriellen Einsatz von additiven Fertigungsverfahren sind alle notwendigen Schritte aufeinander abzustimmen, damit am Ende ein Objekt entsteht, das die vorher festgelegten Anforderungen erfüllt.



additiv

von lateinisch *addere*: hinzufügen, aneinanderreihen

Entwicklung des 3D-Drucks

Im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsverfahren ist der 3D-Druck eine neue Technik. Dennoch wurden drei der heute wichtigsten Verfahren bereits in den 1980er-Jahren zum Patent angemeldet: 1984 die Stereolithografie, 1988 das selektive Lasersintern und 1989 das Fused Deposition Modelling. Seitdem sind viele neue Verfahren hinzugekommen.

Das Interesse der Wirtschaft an der innovativen Technik steigt stetig. Auch in vielen Privathaushalten stehen heute 3D-Drucker, da die Geräte mitunter nur noch wenige Hundert Euro kosten.

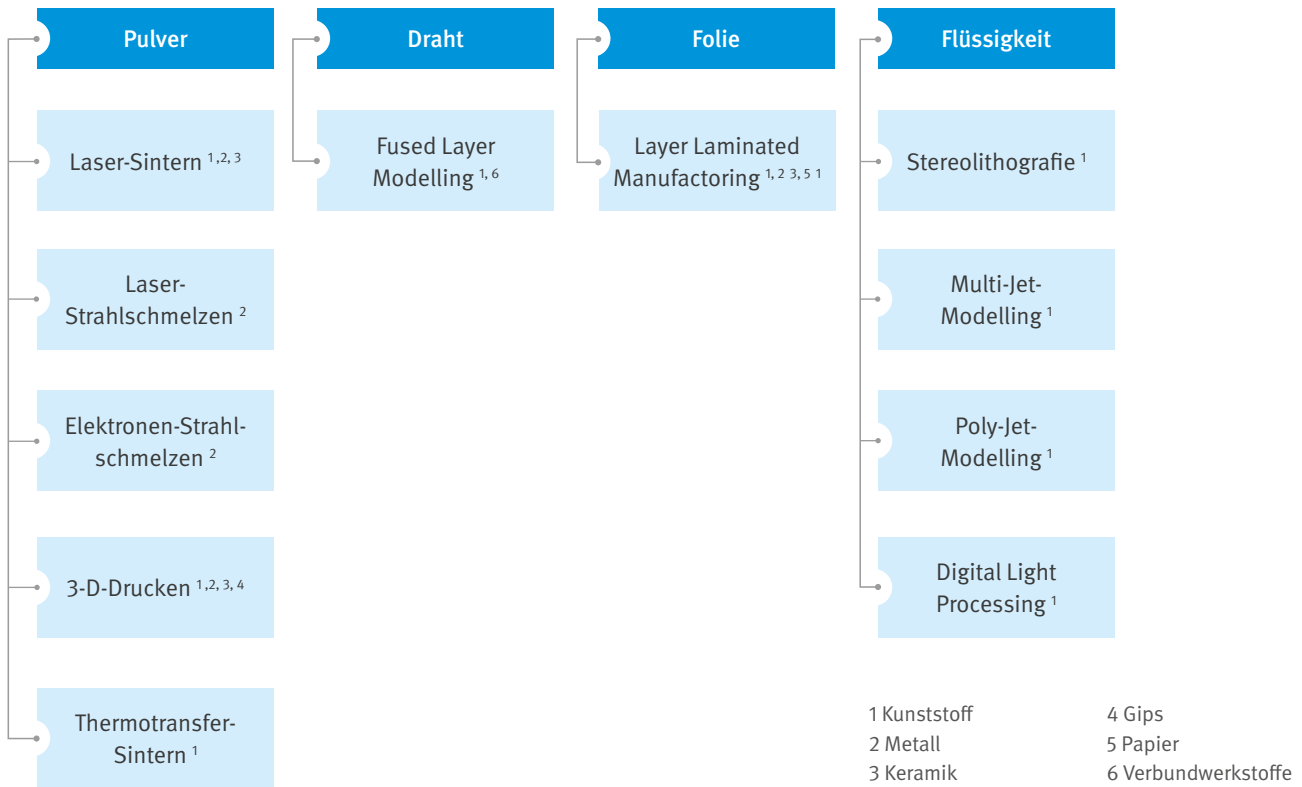
Dass sich additive Verfahren so schnell etablieren konnten, liegt an ihren Vorteilen:

- große Flexibilität im Design
- geringerer Materialverbrauch
- kurze Vorlaufzeiten bis Produktionsbeginn

Demgegenüber stehen natürlich auch Nachteile:

- höhere Kosten bei großen Stückzahlen
- Beschränkungen bei der möglichen Objektgröße
- lange Fertigungszeiten
- teils aufwendige Nachbearbeitung

Deshalb lösen additive Verfahren in der Industrie die herkömmlichen Fertigungsverfahren wie Spritzguss oder Fräsen meist nicht ab, sondern ergänzen diese.



Additive Verfahren und ihre Ausgangsmaterialien

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) beschreibt in seiner Richtlinie VDI 3405 insgesamt elf unterschiedliche additive Verfahren.

Einsatz in der Industrie

Manche Objekte können aufgrund ihrer Form nicht konventionell gefertigt werden, zum Beispiel, weil sie Hohlräume enthalten sollen. Hier können additive Verfahren die Lösung sein. Denn nahezu jede denkbare Form kann mithilfe des Schichtbauprinzips aufgebaut werden.

Herkömmliche Verfahren lohnen sich zudem meist nur bei größeren Stückzahlen und benötigen länger bis zum eigentlichen Start der Produktion. Ein klassisches Einsatzgebiet für additive Verfahren waren daher anfangs vor allem Prototypen (Rapid Prototyping). Mittlerweile werden additive Verfahren aber auch verstärkt im Werkzeugbau für den Bau von Fertigteilen und bei der Produktion von Kleinserien verwendet.

Je nach Verfahren können auch unterschiedlichste Materialien verwendet werden. Da die Verfahren stetig weiterentwickelt werden und die Materialauswahl dadurch wächst, spielen additive Verfahren in vielen Branchen inzwi-

schen eine wichtige Rolle – zum Beispiel in der Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt und Medizin oder im Maschinenbau.

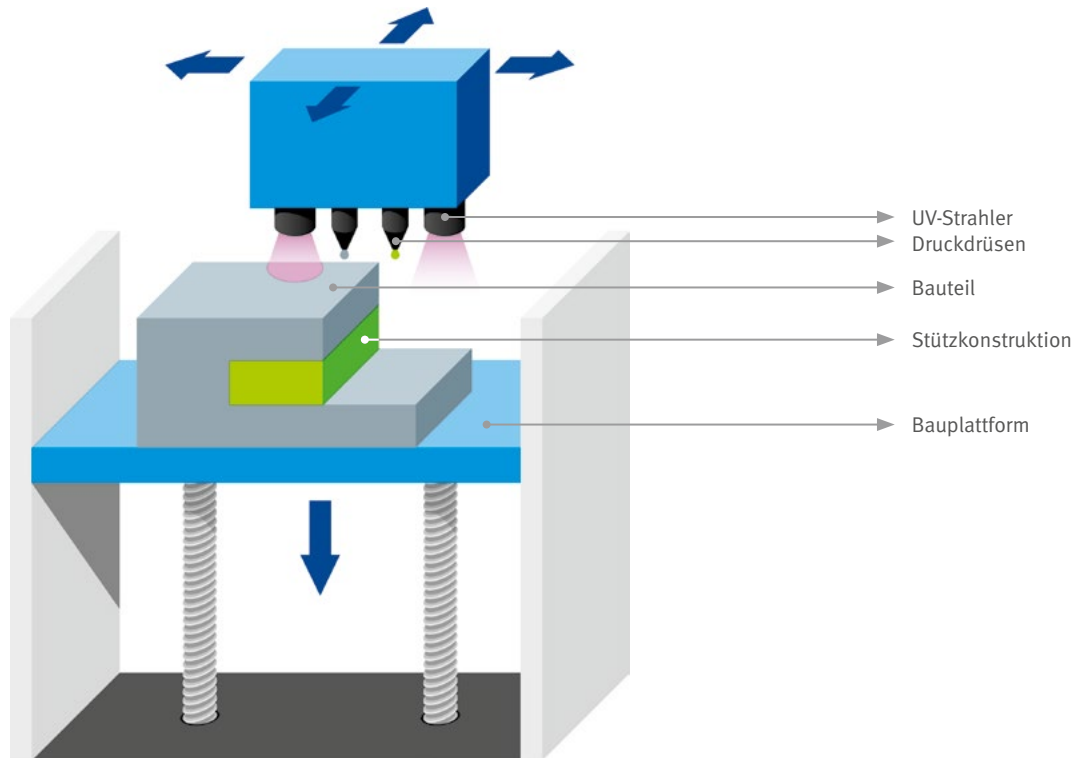
Additive Verfahren bieten Anwendern einen enormen gestalterischen Spielraum, um Objekte in nahezu jeder Form entstehen zu lassen. Die Fertigung von Ersatzteilen für Maschinen oder Anlagen ist dabei ein wichtiges Einsatzgebiet. Allerdings können diese andere Eigenschaften aufweisen als Ersatzteile aus herkömmlichen Fertigungsverfahren. Aus diesem Grund sollten Anwender beim Herstellen von sicherheitsrelevanten Bauteilen mittels additiver Fertigungsverfahren besonders darauf achten, dass die fertigen Produkte die notwendigen Materialeigenschaften mitbringen.

Einen umfassenden Überblick zu den rechtlichen Aspekten beim Arbeiten mit 3D-Druckern bietet die Broschüre „3-D-Druck: Praxisgrundlagen zu Produktsicherheit und Rechtsrahmen“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (baua).



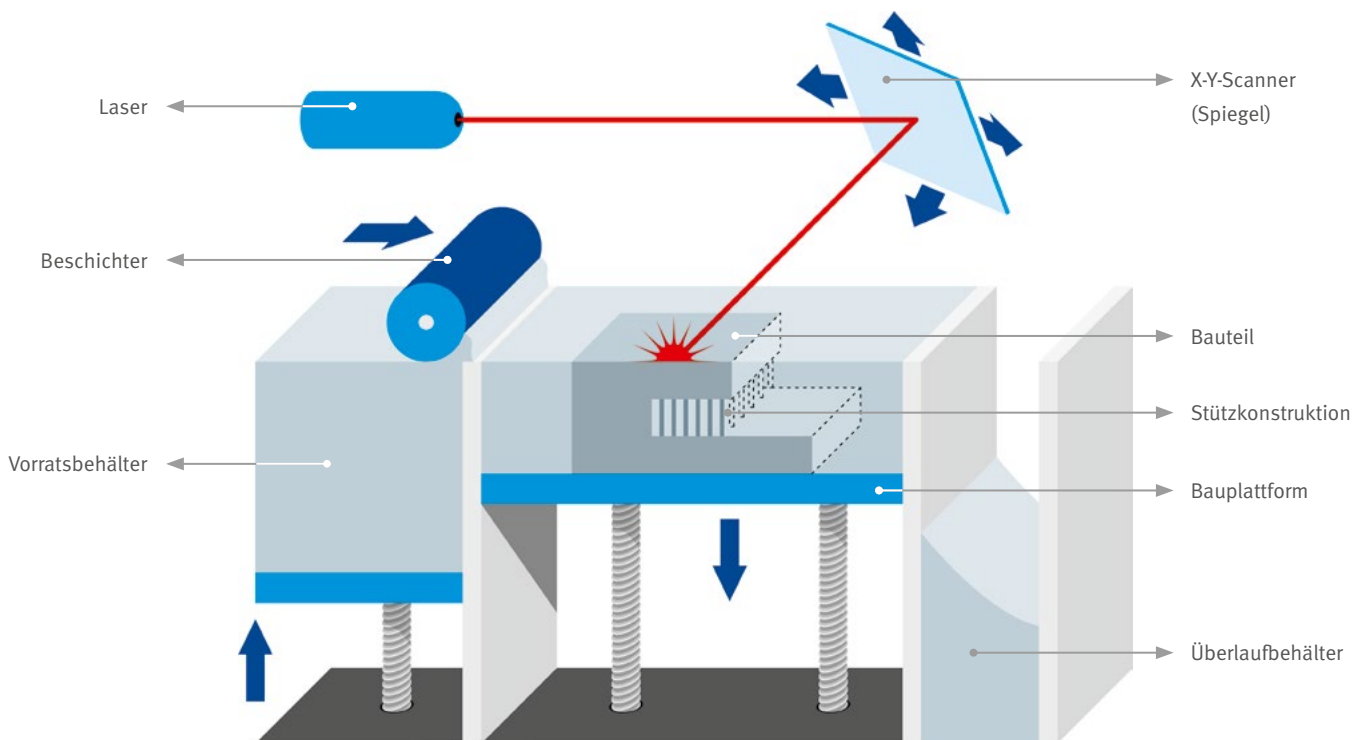
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2389.html>

Sicherheit und Gesundheit beim Arbeiten mit 3D-Druckern



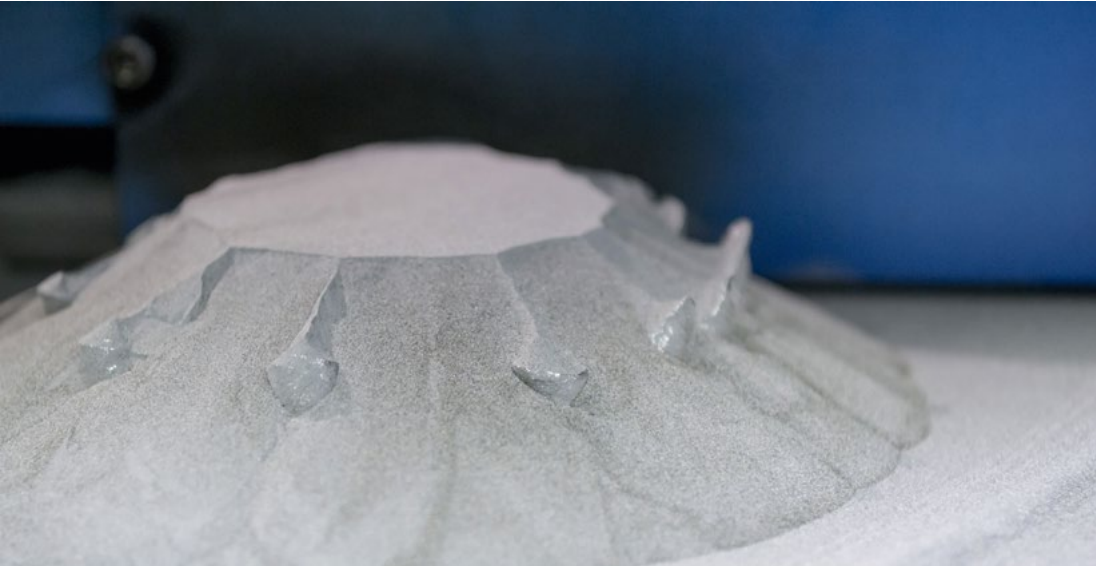
Poly-Jet-Modelling (PJM)

Beim Poly-Jet-Modelling werden UV-härtende Acrylharze schichtweise verdruckt und mit UV-Strahlen direkt am Druckkopf polymerisiert.



Laser-Strahlschmelzen (LBM)

Beim Laser-Strahlschmelzen wird das pulverförmige Ausgangsmaterial mittels eines oder mehrerer Laser an bestimmten Stellen verschmolzen.



Pulverförmige Ausgangsstoffe

Beim Laser-Strahlschmelzen wird häufig Aluminium- oder Titanpulver verwendet.

Einzelne Verfahren im Detail

Das weltweit am weitesten verbreitete Verfahren ist das Fused Layer Modelling. Bei diesem Verfahren wird ähnlich einer Heißklebepistole ein dünner Kunststoffdraht geschmolzen und anschließend Schicht für Schicht auf eine Bauplattform aufgetragen. Inzwischen können auch **Faserverbundwerkstoffe** (Composites) eingesetzt werden. Im Vergleich zu den heute meist eingesetzten Kunststoffen kann im fertigen Objekt so eine um etwa den Faktor zehn höhere Festigkeit erreicht werden.

Ebenfalls weit verbreitet sind das Laser-Strahlschmelzen und das Laser-Sintern. Die Begriffe werden häufig synonym verwendet, es handelt sich tatsächlich aber um zwei geringfügig unterschiedliche Verfahren: Beim Laser-Strahlschmelzen werden die Materialpartikel komplett aufgeschmolzen, während beim Laser-Sintern nur die Oberfläche der Partikel angeschmolzen wird. Laser-Strahlschmelzen wird zum Beispiel im Bereich des Prototypen- und Werkzeugformbaus angewendet, zunehmend aber auch in der Serienfertigung von hochwertigen Leichtbauteilen sowie für das Herstellen von Implantaten und Zahnersatz.

Gemeinsames Merkmal beider Verfahren ist der schichtweise Aufbau dreidimensionaler Strukturen mittels eines Lasers aus einem pulverförmigen Ausgangsstoff, meist Metalle wie Aluminium, Titan oder deren Legierungen (siehe auch die Illustration auf Seite 4):

- Das pulverförmige Ausgangsmaterial wird aus dem Vorratsbehälter als dünne Schicht auf einer Bauplattform aufgetragen und mittels eines oder mehrerer Laser an bestimmten Stellen verschmolzen.
- Danach wird die Bauplattform um die jeweilige Druckschichtdicke abgesenkt und mit einer neuen Materialpulverschicht bedeckt, die wieder an definierten Stellen mit der vorhergehenden Schicht verschmolzen wird.
- Auf diese Weise entsteht nach und nach ein dreidimensionales Werkstück.
- Erwünschte Hohlräume bleiben mit nicht-verschmolzenem Materialpulver gefüllt, welches im Post-Prozess entfernt wird.

Mit flüssigen, UV-empfindlichen Acrylharzen arbeitet dagegen das Poly-Jet-Modelling genannte Verfahren. Die Harze werden unmittelbar mittels am Druckkopf befindlichen UV-Strahlern polymerisiert (siehe Illustration auf Seite 4). Dabei härten die Harze aus und bauen das Objekt so schichtweise auf. Poly-Jet-Drucker besitzen mehrere Druckdüsen. Daher können in einem Objekt mehrere Materialien gleichzeitig verdruckt werden, zum Beispiel feste und gummiartige oder verschiedenfarbige Materialien. Dieses Verfahren wird in verschiedenen Branchen vorwiegend für die Fertigung von detailreichen Prototypen angewendet.



Faserverbundwerkstoffe

Sie bestehen meist aus zwei Hauptkomponenten: einer Faser sowie einem Füll- oder Klebstoff (Matrix). Diese verstärken sich gegenseitig.

3D-Drucker kaufen

Erst prüfen, dann kaufen: Welche Maschine die richtige ist, hängt von der Aufgabe ab, die sie erfüllen soll. Aber auch Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz sollten vor dem Kauf berücksichtigt werden.

Die verschiedenen additiven Verfahren unterscheiden sich in der Art und Weise, wie Schichten aufgebaut beziehungsweise verbunden werden. Außerdem verwenden sie teilweise unterschiedliche Ausgangsmaterialien. Deshalb unterscheiden sich auch die Einsatzmöglichkeiten der gefertigten Objekte.

Die Anforderungen an das zu fertigende Objekt spielen die wichtigste Rolle bei der Auswahl des additiven Verfahrens und der Maschine. Sicherheit und Gesundheitsschutz sollten aber gleichermaßen vor dem Kauf bedacht werden, um Unfälle, Gesundheitsgefährdungen, Nachrüstungen oder sogar eine behördlich angeordnete Stilllegung des Druckers zu vermeiden. Betriebe müssen sich daher frühzeitig und intensiv auch damit auseinandersetzen, welche Verfahren und Maschinen aus dem Blickwinkel des Arbeitsschutzes für sie infrage kommen.

Technische Dokumentation

3D-Drucker müssen die Anforderungen der jeweils geltenden EU-Richtlinie erfüllen. 3D-Drucker sind Maschinen im Sinne der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (MRL) und müssen dieser Richtlinie entsprechen.

Käufer können das inhaltlich nicht selbst überprüfen, sondern müssen sich auf die Angaben verlassen, die der Hersteller in der Konformitätserklärung macht. Wichtig: Das CE-Zeichen (Conformité Européenne, europäische Konformität) auf dem **Typenschild** ist kein Prüfzeichen. Es ist eine Erklärung des Herstellers, die zutreffende EU-Richtlinie angewandt zu haben. Das Kennzeichen wird vom Hersteller selbst angebracht und zeigt lediglich, dass die Maschine in jedem Mitgliedsstaat der Europäischen Union in Verkehr gebracht werden darf. Deshalb darf mit dem CE-Zeichen auch nicht geworben werden.

Nur wenn die Maschine zusätzlich ein GS-Prüfzeichen (Geprüfte Sicherheit) hat, wurden grundlegende Sicherheitsanforderungen durch eine zugelassene, unabhängige Prüfstelle überprüft. Das GS-Zeichen ist das einzig gesetzlich geregelte Prüfzeichen in Europa für Produktsicherheit.

Mit dem GS-Zeichen dürfen Produkte versehen werden, wenn:

- eine Prüfstelle eine Baumusterprüfung durchführt und bestätigt, dass das Baumuster den sicherheitstechnischen Anforderungen des Produktsicherheitsgesetzes entspricht,
- die Prüfstelle kontrolliert, dass die in Verkehr gebrachten Serienprodukte mit dem geprüften Baumuster übereinstimmen.

Weitere wichtige Dokumente sind Sicherheitsdatenblätter und Betriebsanleitung. Hersteller beziehungsweise Lieferant müssen eine Betriebsanleitung in deutscher Sprache mitliefern. Sie muss die erforderlichen Hinweise zu den Themen Sicherheit, Aufstellung, Betrieb, Beschicken, Instandhaltung, Reinigung und Störungsbeseitigung enthalten und bildet eine wichtige Grundlage für die Unterweisung der Beschäftigten.

Bestehen Restgefährdungen, die nicht durch technische Maßnahmen vermieden werden können, müssen entsprechende Warnhinweise an der Maschine angebracht und Hinweise hierzu ausführlich in der Betriebsanleitung beschrieben sein. Auf der Maschine muss sich ein Typenschild befinden.

Die Gefährdungsbeurteilung beginnt bereits vor dem Kauf

Schon vor Erwerb einer Maschine sollten die Betriebe zusammen mit dem Hersteller klären,



Typenschild

Mindestangaben sind: Bezeichnung der Maschine und Baujahr, Firmenname und vollständige Anschrift des Herstellers oder des Bevollmächtigten im EWR, CE-Kennzeichnung, Baureihen- oder Typenbezeichnung und gegebenenfalls eine Seriennummer.

▶ GS-Zeichen



▶ CE-Zeichen



Einführung	▶ 1977	▶ 1993
Nutzung	▶ freiwillig	▶ Pflichtangabe
Vergabestelle	▶ unabhängige Prüf- und Zertifizierungsstellen	▶ Hersteller selbst
Rechtliche Grundlage	▶ Produktsicherheitsgesetz	▶ EU-Verordnungen
Zielgruppe	▶ Verbraucher	▶ Behörden
Prüfung durch unabhängige Stelle	▶ ja	▶ nein
Was wird bestätigt?	▶ Sicherheit	▶ Richtlinienkonformität

Unterschiede zwischen GS-Prüfzeichen und CE-Zeichen

Das CE-Zeichen ist kein Prüfzeichen, sondern zeigt lediglich, dass die Maschine in der Europäischen Union vertrieben werden darf. Nur wenn ein 3D-Drucker das GS-Prüfzeichen trägt, wurde er durch eine unabhängige Prüfstelle auf grundlegende Sicherheitsanforderungen überprüft.

welche Schritte ein erfolgreicher Einsatz (Pre- bis Post-Prozess) erfordert und welche Bedingungen ein sicheres Arbeiten ermöglichen:

- Die Aufstellbedingungen, also definierte Anforderungen an Temperatur, Luftfeuchte und Luftwechselrate, müssen bekannt sein und vor Kauf auf Umsetzbarkeit überprüft werden.
- Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten sollten nutzerfreundlich und gefahrlos durchgeführt werden können.
- Werden UV-Strahler oder Laser eingesetzt, so muss deren Strahlung ausreichend abgeschirmt sein.
- Sind für die Arbeit Gefahrstoffe notwendig, müssen Lieferanten Sicherheitsdatenblätter in deutscher Sprache zur Verfügung stellen.

Haben Betriebe alle **Gefährdungen** ermittelt, beurteilt und Schutzmaßnahmen festgelegt, müssen sie die Beschäftigten im sicheren Umgang mit dem 3D-Drucker regelmäßig, mindestens jährlich, unterweisen. Sowohl Gefährdungsbeurteilung als auch Unterweisung sind zu dokumentieren. Diese Dokumentationen dienen dazu, den betrieblichen Arbeitsschutz nachvollziehbar und transparent zu kommunizieren und ihn nachweisen zu können.



Gefährdungen

Hilfestellung beim Kauf einer 3D-Druckmaschine bietet die App „Sicher investieren“ auf bgetem.de, Webcode: 16485463. Checklisten zur Gefährdungsbeurteilung für verschiedene 3D-Druck-Verfahren (SZ026) finden Sie auf bgetem.de, Webcode: M20836418.

3D-Drucker betreiben

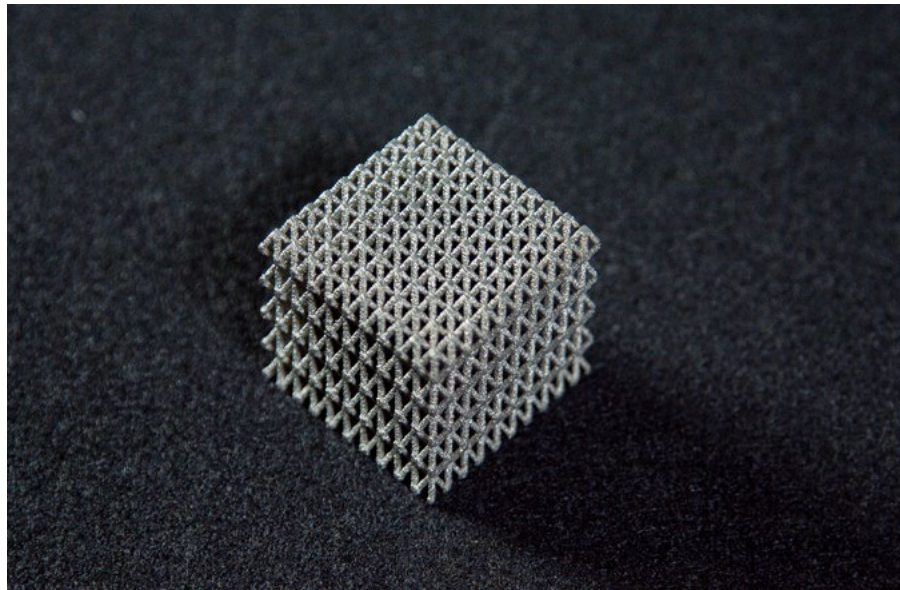
Strahlung, Staub, Gefahrstoffe: Je nach gewähltem Verfahren bringt das Arbeiten mit 3D-Druckern auch unterschiedliche Gefährdungen mit sich.

Trotz der ständig wachsenden Verbreitung additiver Verfahren gibt es derzeit kaum Untersuchungen aus Deutschland zu möglichen gesundheitlichen Gefährdungen von Beschäftigten. Welche Gefährdungen die Arbeit mit 3D-Druckern konkret mit sich bringt, hängt vor allem vom verwendeten Verfahren ab. Aus Sicht des Arbeitsschutzes sind alle drei Produktionsschritte, also Pre-, In- und Post-Prozess (siehe auch Seite 2) zu betrachten. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei auf Arbeiten im Pre- und Post-Prozess zu legen, die manuell durchgeführt werden.

Partikelförmige Gefahrstoffe (Stäube)

Beim Umgang mit pulverförmigem Ausgangsmaterial müssen Betriebe darauf achten, dass möglichst staubarm gearbeitet wird. Verfahren, die Pulver als Ausgangsmaterial einsetzen, sind zum Beispiel das Laser-Strahlschmelzen, das Laser-Sintern sowie das 3-D-Drucken. Ausgangsmaterialien sind zum Beispiel Metallpulver, Kunststoffe oder Gips. Bei Tätigkeiten mit Stäuben, die nicht oder schwer wasserlöslich und nicht anderweitig reguliert sind, sollten die Schutzmaßnahmen der **Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 500** angewendet werden. Sie dienen zur Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte für allgemeinen Staub in der Luft. Viele Hersteller bieten Komplettlösungen inklusive eines Handschuhkastens (Glovebox) an. Dadurch lässt sich staubarmes Arbeiten einfacher gewährleisten.

Stäube, die aus verhältnismäßig großen Partikeln bestehen, werden überwiegend im Rachen oder in den oberen Atemwegen durch körpereigene Schutzmechanismen zurückgehalten. Je kleiner die eingeatmeten Teilchen, umso tiefer dringen sie in die Lunge vor. Feine Stäube kommen bis in die Lungenbläschen (Alveolen), wo sie sich ablagern oder sogar vom Blut aufge-



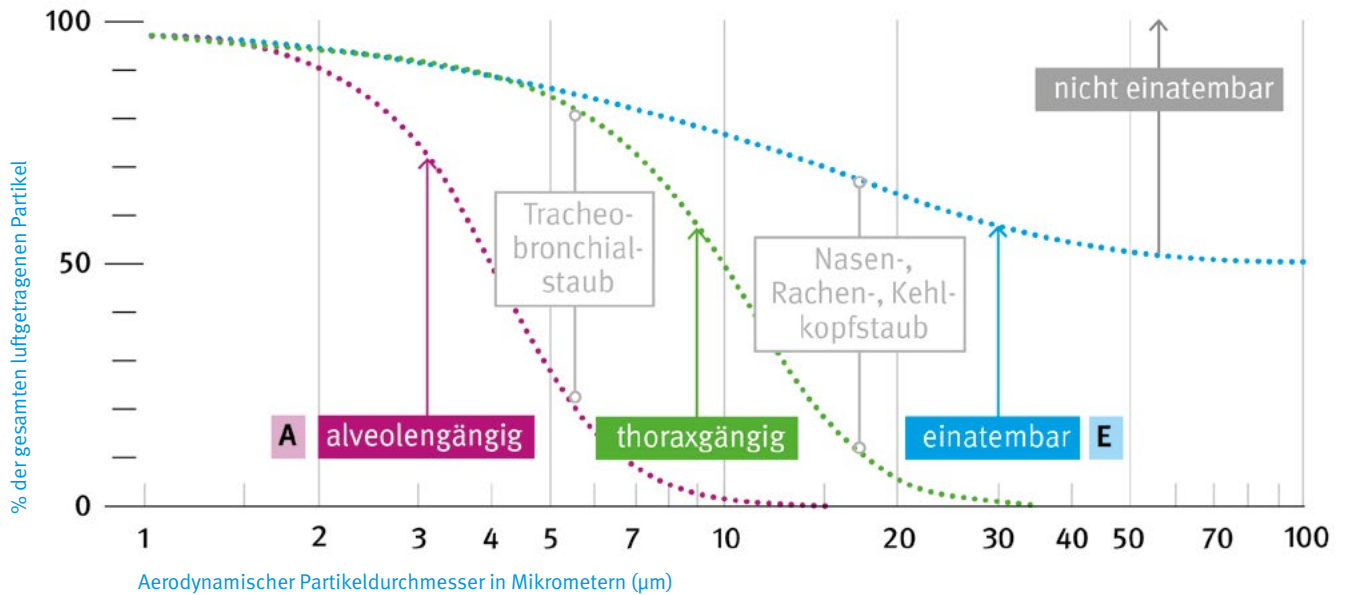
Komplexe Strukturen

Additive Fertigung erlaubt die Herstellung von Bauteilen mit komplexen Strukturen und Innenhohlräumen und ermöglicht so innovatives Design.



TRGS 500

Die TRGS 500 umfasst in ihrer neuen Fassung vom 31.01.2020 die allgemein gültigen Schutzmaßnahmen für Staub aus der TRGS 504. Letztere ist nun aufgehoben.



Teilchengrößenverteilung nach DIN EN 481

Stäube aus größeren Partikeln werden meist im Rachen oder in den oberen Atemwegen durch körpereigene Schutzmechanismen zurückgehalten. Sehr feine Stäube gelangen bis in die Lungenbläschen (Alveolen). Zum Vergleich: Der Durchmesser eines roten Blutkörperchens beträgt circa 7 Mikrometer, die Dicke eines handelsüblichen Klebefilms 50 Mikrometer. Tabelle: Sachgebiet Glas und Keramik, VBG

nommen werden können. Dies betrifft vor allem Partikel im Nanobereich (zwischen 1 und 100 Nanometern).

Bei Arbeiten mit Stäuben muss mindestens der allgemeine Staubgrenzwert eingehalten werden. Der allgemeine Staubgrenzwert gilt für **inerte Stäube**, die keinen eigenen Grenzwert besitzen. In Deutschland existieren zwei Grenzwerte für den allgemeinen Staub in der Luft am Arbeitsplatz. Für den E-Staub (einatembarer Staub, Gesamtstaub) liegt dieser bei 10 mg/m^3 und für die alveolengängige Fraktion (Alveolarstaub, Feinstaub $< 10 \mu\text{m}$) bei $1,25 \text{ mg/m}^3$.

Der allgemeine Staubgrenzwert gilt nicht für Stäube mit spezifischer Toxizität, wie zum Beispiel Cobalt-Stäube, die als krebserzeugend eingestuft sind. In diesen Fällen müssen weitergehende Maßnahmen getroffen werden – siehe hierzu unter anderem TRGS 560, 561, 900 und 910. Gleiches gilt für brennbare Stäube. Hier sind Brand- und Explosionsgefährdungen zu berücksichtigen, die ebenfalls in der TRGS 500 beschrieben werden.

Flüssige und gasförmige Gefahrstoffe

Beim Drucken können sich je nach Verfahren unterschiedliche Gefahrstoffe bilden. Häufig sind



Inerte Stäube

Hierbei handelt es sich um unlösliche Stäube, die keine spezifisch toxische Wirkung besitzen, aber die Atmungsorgane allein aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften schädigen können.

dies leichtflüchtige Substanzen. Das stechend-scharf bis chlorähnlich riechende Gas Ozon kann zum Beispiel beim Einsatz von UV-Strahlern entstehen. Diese werden beim Poly-Jet-Modelling genutzt, um Flüssigharze auszuhärten. Ozon wirkt schon in niedrigen Konzentrationen reizend auf Augen, Nase, Rachenraum und Lunge. Ob Ozon entstehen kann, hängt von der Art der UV-Strahlungsquelle ab. Der Hersteller kann hierüber Auskunft geben. Bei Unsicherheit kann zur Orientierung eine einfache Messung mittels Gasprüfröhrchen durchgeführt werden. Je nach Konzentration muss eine Absaugung (mit geeigneten Filtern) installiert oder für gute Belüftung gesorgt werden.

Auch bei 3D-Druckverfahren, bei denen freigesetzte Gefahrstoffe bislang nicht nachgewiesen werden konnten, kommt es oft zu unangenehmen Gerüchen. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, die Geräte möglichst in separaten Räumen aufzustellen.

Der Hautkontakt mit Gefahrstoffen sollte vermieden werden. Die beim Poly-Jet-Modelling als Ausgangsmaterial verwendeten Flüssigharze sind als Gefahrstoffe eingestuft und wirken reizend auf Haut und Augen.



Handschuhkasten für staubfreies Arbeiten

Die sogenannte Glovebox hält Produktionsumgebungen sauber und staubfrei. Der Behälter ist gegenüber dem Arbeitsraum hermetisch abgeschlossen. Innerhalb der Glovebox kann eine definierte Atmosphäre zur Bearbeitung empfindlicher oder gefährlicher Stoffe erzeugt werden.

Zudem wirken sie sensibilisierend und können Allergien auslösen. Beim 3-D-Drucken werden die leicht zerbrechlichen, gedruckten Objekte im Post-Prozess mittels Sekundenkleber stabilisiert. Dies geschieht meist manuell mittels eines Tauchverfahrens. Die Stoffe härten im Objekt aus und verleihen ihm die endgültige Festigkeit. Dabei besteht die Möglichkeit von Hautkontakt, gegen den man sich schützen muss.

Weitere Gefährdungen

Während des Druckprozesses bestehen Gefährdungen durch bewegte Maschinenteile und je nach Verfahren durch Strahlung, wie UV- oder Laserstrahlung. Daher müssen die vorhandenen Abdeckungen der Maschinen während des Druckprozesses geschlossen sein. Geeignete Einhausungen schützen auch vor den zum Teil hoch energetischen Laserstrahlen. Nach dem Druckprozess kann die Maschine oder das Objekt sehr heiß sein, sodass die Gefahr von Verbrennungen droht.

Maßnahmen ergreifen

Die verschiedenen additiven Verfahren gelten grundsätzlich als sicher. Voraussetzung dafür ist aber, dass Schutzmaßnahmen ergriffen und konsequent eingehalten werden.

Welche Schutzmaßnahmen beim Arbeiten mit additiven Verfahren ergriffen werden müssen, hängt natürlich vom eingesetzten Verfahren ab. Meist geht es aber darum, folgende Dinge zu verhindern:

- direkten Kontakt mit Gefahrstoffen
- Unfälle durch Laser- oder UV-Strahlung
- Verletzungen durch bewegte oder heiße Teile der Maschine
- Brände und Explosionen

Dies lässt sich durch ein sicheres Verfahren, sichere Maschinen, korrektes Bedienen sowie umsichtiges Verhalten erreichen.

Bei der Auswahl der hierfür nötigen Schutzmaßnahmen ist eine Rangfolge, das sogenannte STOP-Prinzip, anzuwenden.

- 1 Substitution
- 2 Technische Maßnahmen
- 3 Organisatorische Maßnahmen
- 4 Persönliche Schutzmaßnahmen

Die beste Maßnahme ist immer, die Gefährdung zu vermeiden oder ganz auszuschalten (Substitution). Ist das nicht möglich, muss die Gefährdung so gering wie möglich gehalten werden. In der Regel sind technische Lösungen (zum Beispiel ein geschlossenes System) für den Arbeitsschutz am wirksamsten. Sie haben Vorrang vor organisatorischen Regelungen und personen- und verhaltensbezogenen Schutzmaßnahmen.

Maschinen richtig bedienen

Zuallererst ist wichtig, dass die eingesetzte Maschine die gesetzlichen Bestimmungen erfüllt und die dafür erforderlichen Dokumente vollständig sind. Weiterhin muss der 3D-Drucker bestimmungsgemäß aufgestellt werden.

Um Geruchsbelästigung durch eventuell austretende Stoffe zu vermeiden, sollen 3D-Drucker nicht neben einem kontinuierlich genutzten Arbeitsplatz, sondern in einem separaten Raum aufgestellt werden. Das senkt auch die Lärmbelastung. Auf regelmäßige Raumlüftung ist immer zu achten.

Die Bedienung der Maschine muss bestimmungsgemäß erfolgen. Dazu gehört:

- nicht in den laufenden Druckprozess einzugreifen, ohne die Maschine anzuhalten
- keine Abdeckungen oder Schutzvorrichtungen zu entfernen
- Objekte möglichst lange bei geschlossener Abdeckung abkühlen zu lassen
- bei der Nachbearbeitung von Objekten und der Wartung und Reinigung von Maschinen vorsichtig vorzugehen

Persönliche Schutzausrüstung für die Arbeit mit Pulver

Wird mit Ausgangsmaterialien in Pulverform gearbeitet, ist die persönliche Schutzausrüstung entsprechend der sehr feinen Partikelgröße der Pulver anzupassen. Die Hände müssen beim Handling von Pulver deshalb mit geeigneten **Schutzhandschuhen** geschützt werden. Diese sollten staubdicht und bezüglich des eingesetzten Materialpulvers chemikalienbeständig sein. Erfahrungsgemäß sind die Handschuhmaterialien Naturlatex, Polychloropren, Nitrilkautschuk, Butylkautschuk, Fluorkautschuk und Polyvinylchlorid geeignet zum Schutz gegenüber nicht gelösten Feststoffen. Völlig ungeeignet sind Stoff- oder Lederhandschuhe. Bei Bedarf muss ein geeigneter Atemschutz gegen Partikel (mindestens FFP2) getragen werden.

Besteht die Möglichkeit von Pulveraufwirbelungen oder Spritzern (zum Beispiel von



Handschuhe

Hilfe bei der Suche nach dem richtigen Schutzhandschuh bieten Hersteller von Schutzhandschuhen oder das Hautschutzportal der BG ETEM, hautschutz.bgetem.de, mit einer umfassenden Datenbank.

Infiltratspritzern bei der Nachbehandlung im 3-D-Drucken), muss für den Schutz der Augen eine Schutzbrille getragen werden. Für den Notfall sollte eine Augendusche im Arbeitsbereich vorhanden sein. Ebenso empfiehlt sich geschlossene Kleidung – eventuell inklusive Schürze – und geschlossenes Schuhwerk. Zur Vermeidung von Verschleppungen von Gefahrstoffen, beispielsweise beim Umgang mit sensibilisierenden Stoffen, sollte die Arbeitskleidung separat von der Straßenkleidung aufbewahrt werden.

Um staubarmes Arbeiten zu ermöglichen, kann der Hersteller konfektionierte Pulverkassetten bereitstellen. Möglich ist auch die Verwendung geschlossener Systeme für das Sieben. Falls erforderlich, ist die Umsetzung weiterer Schutzmaßnahmen zu prüfen, wie Einhausung, Absaugung oder ergänzende raumlufttechnische Maßnahmen.

Richtiges Reinigen

Um Verschleppungen in nicht belastete Bereiche zu vermeiden, sollten Pulverreste nach Abschluss des Druckprozesses umgehend aus der Anlage entfernt werden. Abblasen der Anlage und des Objekts mit Druckluft sind dabei laut Gefahrstoffverordnung ohne Schutzmaßnahmen nicht gestattet. Ebenso ungeeignet ist kehren oder fegen, weil dies zu größeren Aufwirbelungen und hoher Staubbelastung in der Atemluft führen kann.

Am besten ist es, Pulverstaub mittels eines Saugers zu entfernen oder feucht aufzuwischen. Werden brennbare Stäube als Ausgangsmaterial verwendet, müssen explosionsgeschützte Staubsauger der Bauart Zone 22 nach DIN EN 60335-2-69 zum Aufsaugen verwendet werden, wenn der betreffende Arbeitsbereich entsprechend des Explosionsschutzdokuments in **Zone 22** eingeteilt worden ist.

Wenn am Einsatzort und in der Einsatzzeit das Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre ausgeschlossen werden kann, ist das Aufsaugen von brennbaren Stäuben auch mit Staubsaugern zulässig, deren staubbelasteter Bereich frei von inneren Zündquellen ist. Hier muss eine entsprechende schriftliche Bestätigung des Herstellers vorliegen. Bei der Auswahl des richtigen Geräts bietet die DGUV Information 209-084 „Industriestaubsauger und Entstauber“ eine Hilfestellung.



Atemschutzmasken

FFP (filtering face Piece)-Masken schützen vor partikelförmigen Schadstoffen wie Staub. Es gibt sie in den drei Schutzstufen FFP1, FFP2 und FFP3.

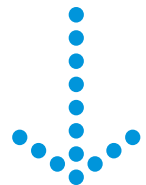
Arbeiten mit flüssigen Gefahrstoffen

Kann der Hautkontakt mit Gefahrstoffen, wie zum Beispiel flüssigem Druckmaterial, nicht ausgeschlossen werden, müssen geeignete, chemisch beständige Schutzhandschuhe getragen werden. Falls die Gefahr besteht, dass Flüssigkeiten in die Augen spritzen können, ist das Tragen einer Schutzbrille Pflicht.

Materialkartuschen dürfen in Arbeitsräumen nur gelagert werden, wenn dies mit dem Schutz der Beschäftigten vereinbar ist. Beispielsweise heißt das, dass sie nicht auf Verkehrswegen (Treppenträume, Flucht- und Rettungswege, Durchgänge) oder Pausen-, Bereitschafts-, Sanitär- oder Sanitätsräumen gelagert werden dürfen. Die Aufbewahrung brennbarer Flüssigkeiten wie Reiniger ist in Arbeitsräumen nur in solchen Mengen gestattet, die für den Fortgang der Arbeit erforderlich sind (Tages- beziehungsweise Schichtbedarf). Darüber hinausgehende Mengen müssen in einem Sicherheitsschrank gemäß DIN EN 14470-1 oder einem Gefahrstofflager im Sinne der TRGS 510 gelagert werden. Die Lösemittel am Arbeitsplatz dürfen nur in beständigen, dicht geschlossenen Behältern bereitgehalten werden. Die Behälter müssen standsicher in eine Auffangeinrichtung gestellt werden, die das gesamte Flüssigkeitsvolumen aufnehmen kann.

Entsorgung

Die Entsorgung von Altpulver, Reinigungsrückständen, Filtern, Behältnissen sowie Flüssigkeiten aus Nassabscheidern muss gemäß den gesetzlichen Vorgaben und in Absprache mit dem Entsorger durchgeführt werden. Gefahrstoffverordnung sowie Kreislauf- und Abfallgesetz sind zu berücksichtigen.



Zone 22

Bereich, in dem bei Normalbetrieb nicht oder nur kurzzeitig damit zu rechnen ist, dass explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke brennbaren Staubes in der Luft auftritt.

Die BG ETEM

Als Teil der gesetzlichen Unfallversicherung sind wir – die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medien-erzeugnisse (BG ETEM) – für mehr als vier Millionen Menschen in über 200.000 Mitgliedsunternehmen in ganz Deutschland zuständig. Bei einem Arbeitsunfall oder einer Berufskrankheit tragen wir die Kosten der gesamten Behandlung und sorgen für die finanzielle Absicherung der Versicherten und ihrer Familien. Finanziert wird die Solidargemeinschaft der Berufsgenossenschaften allein von den Unternehmen, die im Gegenzug von ihrer zivilrechtlichen Haftung befreit werden.

Jedes Unternehmen wird entsprechend seinem Gewerbe-zweig von der dafür zuständigen Berufsgenossenschaft betreut. Die Aufgaben der Berufsgenossenschaften sind:

- 1 Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren
- 2 Leistungen zur Rehabilitation
- 3 Entschädigung durch Geldleistungen

Die Erhaltung des Lebens und der Gesundheit der im Beruf stehenden Menschen ist oberstes Gebot für die Berufs-genossenschaften. Durch den technischen Aufsichtsdienst überwachen sie die Durchführung der Unfallverhütung und beraten die Mitgliedsbetriebe und die Mitarbeitenden in allen Fragen der Arbeitssicherheit.

Wir von der BG ETEM helfen Ihnen gerne bei Fragen zur Arbeitssicherheit. Ihre persönliche Ansprechperson vor Ort finden Sie hier: bgetem.de, Webcode: ansprechpartner.

Weitere Informationen

Publikationen der BG ETEM/DGUV

Gesunde Haut am Arbeitsplatz

Hauterkrankungen gehören zu den häufigsten beruflich bedingten Erkrankungen.

- Bestellnummer: MB003
Webcode: M18519401

Bereitstellen von Maschinen – erfolgreich planen, beschaffen, in Betrieb nehmen, verändern
Hilfestellung zum Verständnis der umfangreichen Sicherheitsanforderungen an Maschinen

- Bestellnummer: MB046
Webcode: M19104619

Voraussetzungen für das Inverkehrbringen von Maschinen in den Europäischen Wirtschaftsraum

Hersteller müssen die in der Maschinenrichtlinie geforderten Bedingungen erfüllen.

- Bestellnummer: MB049
Webcode: M19284950

Leitfaden zur Gefährdungsbeurteilung nach Gefahrstoffverordnung

Arbeitssicherheit/Gesundheitsschutz organisieren, Gefährdungsbeurteilung, Gefahrstoffe

- Bestellnummer: S017
Webcode: M19359474

Checklisten zur Gefährdungsbeurteilung: Additive Fertigungsverfahren (3D-Druck)

- Webcode: M20836418

Exposition bei additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck) – Aus der Arbeit des IFA Nr. 0397

- www.dguv.de, Webcode: p012641

DGUV Information 202-103: 3D-Tischdrucker in Schulen

- www.dguv.de, Webcode: p202103

Websites

Hautschutzportal

Individuelle Produktempfehlungen für Schutzhandschuhe und Hautschutzmittel

- hautschutz.bgetem.de
Webcode: 18517060

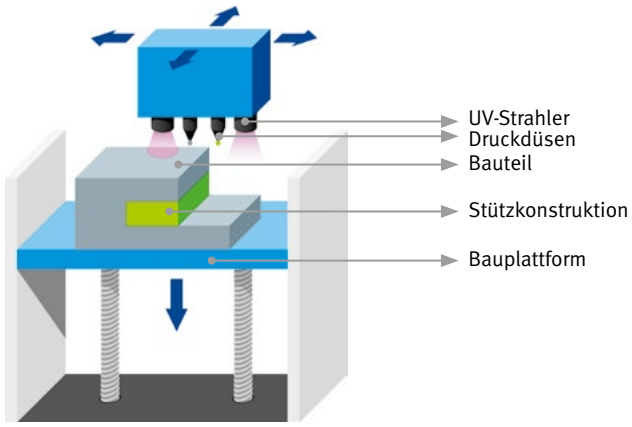
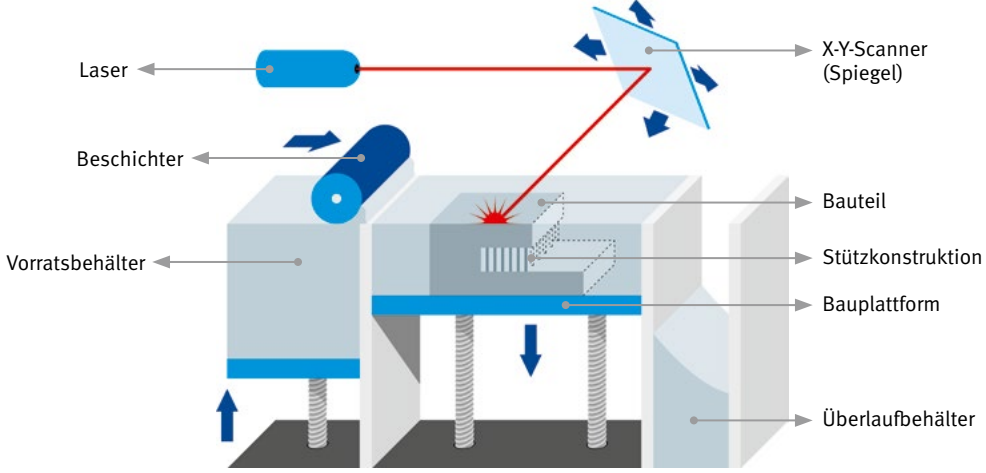
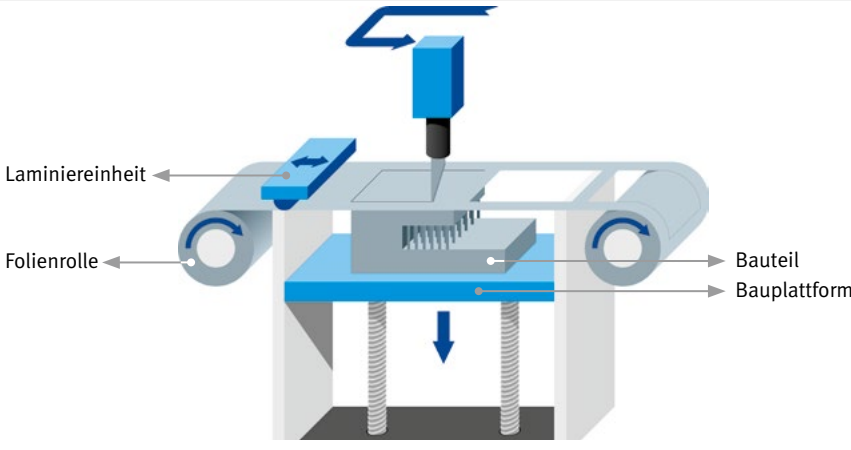
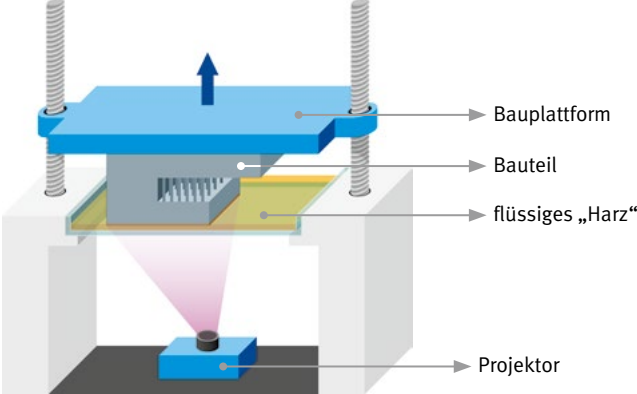
IFA-Information: 3D-Drucker

- <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeiten-4.0/neue-technologien-stoffe/3d-drucker/index.jsp>

Übersicht über 3D-Druckverfahren

		prEN ISO/ASTM 52900:2018	
		Prozesskategorien	Abkürzungen
<p>Labels: Beschichter, Vorratsbehälter, Bindemittel, Druckdüsen, Bauteil, Pulver, Bauplattform, Überlaufbehälter</p>	<p>Freistrahl-Bindemittel-auftrag (engl.: binder jetting)</p>	<p>BJT</p>	
<p>Labels: Bauteil, Bauplattform, Laserstrahl, Pulverstrahl</p>	<p>Materialauftrag mit gerichteter Energieeinbringung (engl.: directed energy deposition)</p>	<p>DED</p>	
<p>Labels: Filamentrolle, Filament, Extruder, Extruder Düse, Bauteil, Stützkonstruktion, Bauplattform</p>	<p>Materialextrusion (engl.: material extrusion)</p>	<p>MEX</p>	

EN ISO/ASTM 52900:2017	VDI 3405		Werkstoff/ Material	Ausgangs- form	Bauprozess	Energiequelle
Prozesskategorien	Verfahren	Abkür- zungen				
Bindemittelauftrag (engl.: binder jetting)	3-D-Drucken, Pulverdruck	3DP	„Gips“/ Kunststoff/ Metall/ Keramik + Bindemittel	Pulver + flüssig	Lokales Auftragen von Bindemittel auf eine Pulverschicht mittels Druckkopf	Chemische Reaktion
Gerichtete Energie- einbringung (engl.: directed energy deposition)			Metall	Pulver/ Draht	Lokales Aufschmel- zen von Material mittels Laser, Elektro- nenstrahl oder Licht- bogen und gleich- zeitige Zuführung von pulverförmigem oder drahtförmigen Material	Laser, Elektro- nenstrahl, Lichtbogen
Werkstoffextrusion (engl.: material extrusion)	Fused Layer Modelling, Fused Deposition Modelling Fused Filament Fabrication	FLM, FDM®, FFF	Kunststoff	Draht	Lokales Auftragen eines thermoplas- tischen Materials mittels Extruder	Extruder (Wärmeleitung)

		prEN ISO/ASTM 52900:2018	
		Prozesskategorien	Abkürzungen
		Freistrahlmaterialeutrag (engl.: material jetting)	MJT
		Pulverbettbasiertes Schmelzen (engl.: powder bed fusion)	PBF
		Schichtlaminiertung (engl.: sheet lamination)	SHL
		Badbasierte Photopolymerisation (engl.: vat photopolymerization)	VPP

EN ISO/ASTM 52900:2017	VDI 3405		Werkstoff/ Material	Ausgangs- form	Bauprozess	Energiequelle
Prozesskategorien	Verfahren	Abkür- zungen				
Werkstoffauftrag (engl.: material jetting)	Poly-Jet-Modelling	PJM	Kunststoff	flüssig	Lokales Auftragen und Verfestigen von Kunstharz mittels Druckkopf und UV- Lampe	UV-Licht
Pulverbettbasiertes Schmelzen (engl.: powder bed fusion)	Laser-Sintern, Selektives Laser-Sintern	LS, SLS®	Kunststoff/ Sand/Me- tall/Keramik	Pulver	Lokales Sintern pulverförmigen Aus- gangsmaterials mit- tels Laserstrahlung	Laser
	Laser-Strahlschmelzen, Selective Laser Melting	LBM, SLM®	Metall	Pulver	Lokales Aufschmel- zen pulverförmigen Ausgangsmaterials- mittels Laserstrahlung	Laser
	Elektronen-Strahl- schmelzen	EBM®	Metall	Pulver	Lokales Aufschmelzen pulverförmigen Aus- gangsmaterials mit Elektronenstrahl	Elektronen- strahl
	Thermotransfer-Sintern	TTS	Kunststoff	Pulver	Lokales Sintern pul- verförmigen Ausgangs- materialis mittels Wärmestrahlung	
Schichtlaminierung (engl.: sheet lamination)	Layer Laminated Manufacturing, Laminated Object Manufacturing	LLM, LOM™	Papier/ Kunststoff/ Metall/ Keramik		Ausschneiden der Kontur mittels Laser, Messer, Wasserstrahl oder Fräsworkzeugen sowie Verkleben oder Fügen der einzelnen Schichten	Laser, Ultraschall
Wannenbasierte Photopolymerisation	Digital Light Processing	DLP	Kunststoff	flüssig/ pastös	Lokales Verfestigen von Kunstharz mittels einer Lichtmaske	UV-Licht
	Stereolithografie	SL	Kunststoff	flüssig/ pastös	Lokales Verfestigen von Kunstharz mittels Laserlicht	Laser

**Berufsgenossenschaft
Energie Textil Elektro
Medienerzeugnisse**

Fachgebiet
Druck und Papierverarbeitung
Rheinstraße 6–8
65185 Wiesbaden
Telefon: 0611 131 - 8208
Telefax: 0611 131 - 8222
E-Mail: druckundpapier@bgetem.de

Bestell-Nr. MB033

-  www.bgetem.de
-  facebook.com/bgetem
-  youtube.com/diebgetem
-  twitter.com/bg_etem
-  instagram.com/bg__etem
-  xing.to/bgetem
-  de.linkedin.com/company/bgetem