

DIN EN ISO/ASTM 52910

ICS 25.030

Einsprüche bis 2019-06-19

Entwurf

**Additive Fertigung –
Konstruktion –
Anforderungen, Richtlinien und Empfehlungen (ISO/ASTM 52910:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO/ASTM 52910:2019**

Additive manufacturing –

Design –

Requirements, guidelines and recommendations (ISO/ASTM 52910:2018);

German and English version prEN ISO/ASTM 52910:2019

Fabrication additive –

Conception –

Exigences, lignes directrices et recommandations (ISO/ASTM 52910:2018);

Version allemande et anglaise prEN ISO/ASTM 52910:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-04-19 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nwt@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 60 Seiten

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO/ASTM 52910:2018 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO/ASTM 52910:2019 durch das Technische Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 145-04-01 AA „Additive Fertigung — Querschnittsthemen/Digitalisierung“ im DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO/ASTM 52900	siehe	DIN EN/ISO ASTM 52900
ISO/ASTM 52901	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52901
ISO/ASTM 52921	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52921

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO/ASTM 52900, *Additive Fertigung — Grundlagen — Terminologie*¹

DIN EN ISO/ASTM 52901, *Additive Fertigung — Grundlagen — Anforderungen an erworbene additiv gefertigte Bauteile*

DIN EN ISO/ASTM 52921, *Normbegrifflichkeiten für die Additive Fertigung — Koordinatensysteme und Prüfmethodologien*

¹ In Bearbeitung.

Additive Fertigung — Konstruktion — Anforderungen, Richtlinien und Empfehlungen (ISO/ASTM 52910:2018)

Fabrication additive — Conception — Exigences, lignes directrices et recommandations (ISO/ASTM 52910:2018)

Additive manufacturing — Design — Requirements, guidelines and recommendations (ISO/ASTM 52910:2018)

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	3
Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe.....	5
4 Zweck.....	7
5 Gestaltungsmöglichkeiten und -beschränkungen.....	10
5.1 Allgemeines.....	10
5.2 Gestaltungsmöglichkeiten.....	11
5.3 Gestaltungsbeschränkungen	12
6 Gestaltungserwägungen.....	13
6.1 Allgemeines.....	13
6.2 Produkterwägungen.....	13
6.3 Produktnutzungserwägungen.....	14
6.3.1 Allgemeines.....	14
6.3.2 Thermische Umgebung.....	14
6.3.3 Chemische Exposition.....	15
6.3.4 Strahlungsexposition.....	15
6.3.5 Sonstige Exposition.....	15
6.4 Nachhaltigkeitserwägungen	16
6.5 Geschäftliche Erwägungen.....	17
6.6 Geometrische Erwägungen.....	19
6.7 Erwägungen zu Materialeigenschaften.....	21
6.7.1 Allgemeines.....	21
6.7.2 Mechanische Eigenschaften	21
6.7.3 Thermische Eigenschaften	22
6.7.4 Elektrische Eigenschaften.....	23
6.7.5 Sonstiges	23
6.8 Erwägungen in Verbindung mit verschiedenen Prozesskategorien.....	24
6.8.1 Allgemeines.....	24
6.8.2 Spezielle Erwägungen für verschiedene Prozesskategorien.....	24
6.8.3 Sonstige Erwägungen.....	26
6.9 Kommunikationserwägungen.....	27
7 Warnhinweise für Gestalter.....	27
Literaturhinweise.....	30

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO/ASTM 52910:2018 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO/ASTM 52910:2019 durch das Technische Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/ASTM 52910:2018 wurde von CEN als prEN ISO/ASTM 52910:2019 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde durch ISO/TC 261, *Additive manufacturing*, in Zusammenarbeit mit ASTM F42, *Additive Manufacturing Technologies*, auf Basis eines Partnerschaftsvertrags zwischen ISO und ASTM International, mit dem Ziel, einen gemeinsamen Satz von ISO/ASTM-Normen zur additiven Fertigung zu schaffen, erstellt.

WICHTIG — Dieses Dokument gibt nicht vor, alle unter Umständen mit der Anwendung des Verfahrens verbundenen Sicherheitsaspekte anzusprechen. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders dieser Norm, geeignete Vorkehrungen für den Gesundheits- und Sicherheitsschutz (H&S) zu treffen und vor der Anwendung festzulegen, welche einschränkenden Vorschriften gelten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält Anforderungen, Leitlinien und Empfehlungen für die Anwendung der additiven Fertigung (en: Additive Manufacturing) in der Produktgestaltung.

Das Dokument gilt während der Gestaltung aller Arten von Produkten, Geräten, Systemen, Bauteilen oder Teilen, die durch irgendeine Art von additivem Fertigungssystem hergestellt werden. Dieses Dokument hilft dabei, zu bestimmen, welche Gestaltungserwägungen in einem Gestaltungsprojekt genutzt werden können, oder die Vorteile der Möglichkeiten des AM-Prozesses zu nutzen.

Eine allgemeine Anleitung und die Identifizierung von Problemen werden unterstützt, spezifische Gestaltungslösungen und prozess- oder materialspezifische Daten hingegen nicht.

Die vorgesehene Zielgruppe umfasst drei Arten von Anwendern:

- Gestalter, die Produkte für die Fertigung in einem AM-System gestalten, und ihre Manager;
- Studenten, die mechanische Konstruktion und computergestützte Konstruktion lernen; und
- Entwickler von AM-Gestaltungsleitlinien und -Gestaltungsleitsystemen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO/ASTM 52921, *Standard terminology for additive manufacturing — Coordinate systems and test methodologies*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO/ASTM 52921 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1 Prozesskategorien der additiven Fertigung

3.1.1

Bindemittelauftrag

Prozess der additiven Fertigung, in welchem ein flüssiges Bindemittel gezielt auf Pulvermaterialien abgesetzt wird, um diese zu verbinden

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:—¹, 3.2.1]

3.1.2

gerichtete Energieeinbringung

Prozess der additiven Fertigung, in dem eine fokussierte Wärmeenergie verwendet wird, um Materialien während des Absetzens durch Schmelzen zu vereinigen

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:—, 3.2.2 — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gelöscht]

3.1.3

Materialextrusion

Prozess der additiven Fertigung, in dem Werkstoffe gezielt mit einer Düse oder Öffnung dosiert werden

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:—, 3.2.3]

3.1.4

Materialauftrag

Prozess der additiven Fertigung, in dem Tropfen des Aufbaumaterials gezielt abgesetzt werden

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:—, 3.2.4 — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gelöscht]

3.1.5

pulverbettbasiertes Schmelzen

Prozess der additiven Fertigung, in dem Wärmeenergie gezielt Bereiche eines Pulverbetts schmilzt

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:—, 3.2.5]

3.1.6

Schichtlaminierung

Prozess der additiven Fertigung, in dem Materialfolien verbunden werden, um einen Gegenstand zu formen

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:—, 3.2.6 — „ein Bauteil“ wurde durch „einen Gegenstand“ ersetzt]

3.1.7

badbasierte Photopolymerisation

Prozess der additiven Fertigung, in dem flüssiges Photopolymer in einem Bad gezielt, durch Licht-aktivierte Polymerisation, ausgehärtet wird

[QUELLE: ISO/ASTM 52900:—, 3.2.7]

1 In Vorbereitung. Phase zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: ISO/DIS 52900:2018.

3.2 Zusätzliche Begriffe

3.2.1

Gestaltungserwägungen

Thema, das die Entscheidungen eines Bauteilgestalters beeinflussen können

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Gestalter bestimmt, in welchem Maß das Thema das gestaltete Bauteil beeinflussen kann, und trifft geeignete Maßnahmen.

3.2.2

Prozesskette

Abfolge von Fertigungsprozessen, die erforderlich ist, damit das Bauteil alle angestrebten Eigenschaften erreicht

4 Zweck

4.1 Dieses Dokument enthält Anforderungen, Leitlinien und Empfehlungen für die Gestaltung von Bauteilen und Produkten, die durch AM-Prozesse gefertigt werden sollen. Bedingungen des Bauteils oder Produkts, die die AM begünstigen, sind hervorgehoben. Gleichmaßen sind Bedingungen hervorgehoben, die konventionelle Fertigungsprozesse begünstigen. Die Hauptelemente sind:

- die Möglichkeiten und gestalterischen Freiheiten, die die AM Gestaltern bietet (Abschnitt 5);
- die Aspekte, die Gestalter bei der Gestaltung von Bauteilen für die additive Fertigung berücksichtigen sollten und die den Hauptinhalt dieser Leitlinien ausmachen (Abschnitt 6); und
- Warnhinweise für Gestalter oder „Red Flag“-Themen, die auf Situationen hinweisen, die oftmals zu Problemen in vielen additiven Fertigungssystemen führen (Abschnitt 7).

4.2 Bild 1 zeigt die allgemeine Gestaltungsstrategie für die additive Fertigung. Bei diesem repräsentativen Prozess der Gestaltung mechanischer Bauteile für strukturelle Anwendungen sind Kosten das Hauptentscheidungskriterium. Der Gestalter könnte Kosten gegebenenfalls durch Qualität, Lieferzeit oder ein anderes Entscheidungskriterium ersetzen. Neben technischen Erwägungen wie etwa mechanischen oder Prozesseigenschaften sollte der Gestalter auch Risiken in Verbindung mit der Auswahl additiver Fertigungsprozesse berücksichtigen.

4.3 Bild 2 zeigt den Prozess der Identifizierung des allgemeinen Potentials für die Herstellung durch additive Fertigung. Dies ist eine Erweiterung des Felds „Identifizierung des allgemeinen additiven Fertigungspotentials“ auf der linken Seite in Bild 1. Wie zu erkennen ist, beziehen sich die Hauptentscheidungskriterien auf die Materialverfügbarkeit, ob das Bauteil in das Bauvolumen einer Maschine passt und die Identifizierung von mindestens einer Bauteileigenschaft (Maßfertigung, Leichtbauweise, komplexe Geometrie), für die die additive Fertigung besonders gut geeignet ist. Diese Kriterien sind für viele Anwendungen im Maschinenbau technischer Bauteile repräsentativ, erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

4.4 Eine Erweiterung des „AM-Prozessauswahl“-Felds in Bild 1 ist in Bild 3 dargestellt und zeigt, dass die Wahl des Materials kritisch für die Identifizierung eines oder mehrerer geeigneter Prozesse ist. Wenn ein geeignetes Material oder eine Prozesskombination identifiziert werden können, kann mit der Erwägung anderer Gestaltungsanforderungen einschließlich der Betrachtung der Oberfläche und geometrischer, statischer und dynamischer physikalischer Eigenschaften usw. fortgefahren werden. Diese Bilder dienen als Beispiel der üblichen Vorgehensweise für viele Arten von mechanischen Bauteilen, sollten jedoch nicht als Vorschrift einer notwendigen Praktik interpretiert werden.

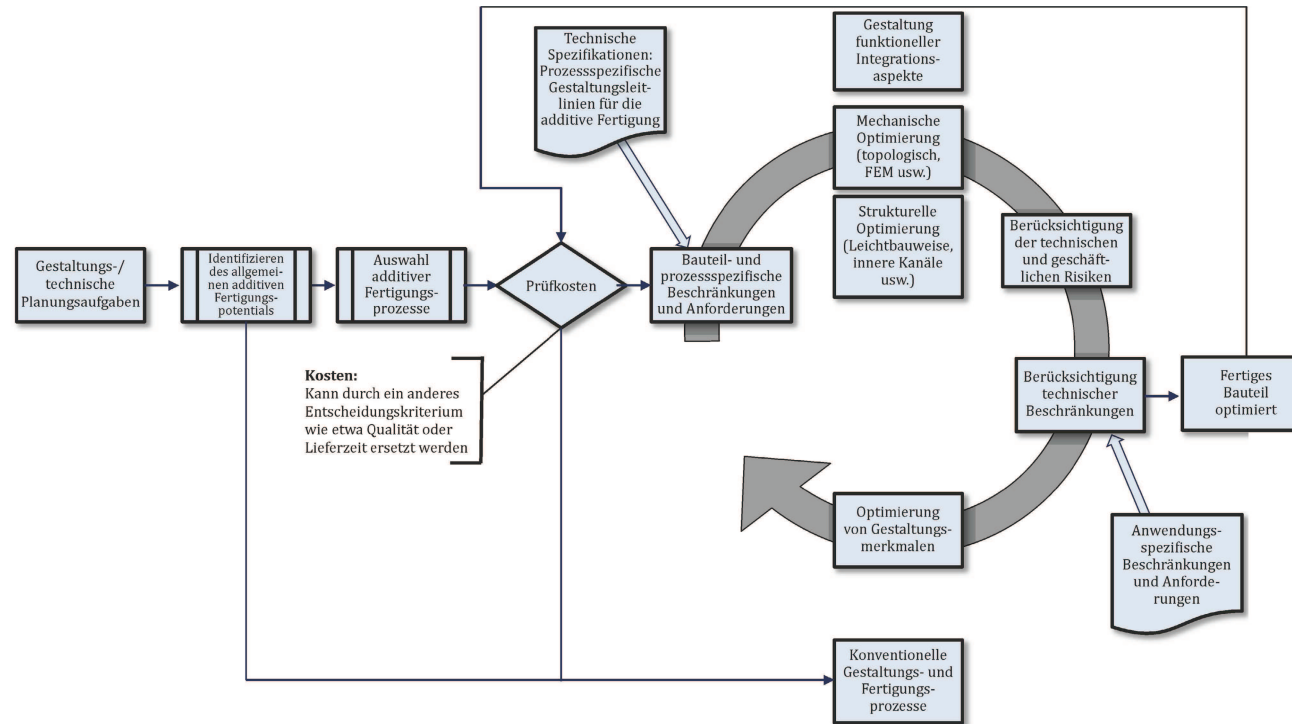


Bild 1 — Allgemeine Strategie der Gestaltung für die additive Fertigung

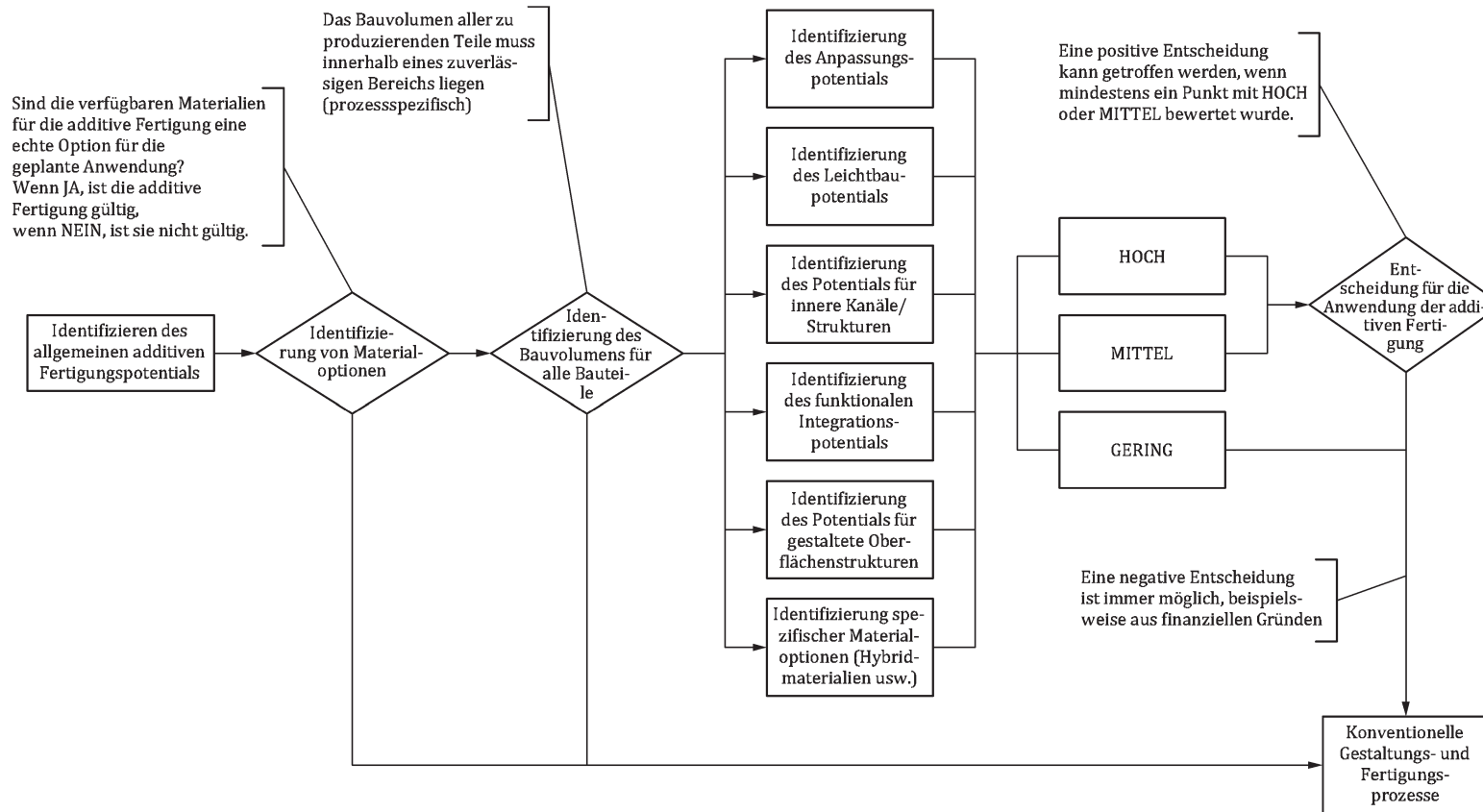
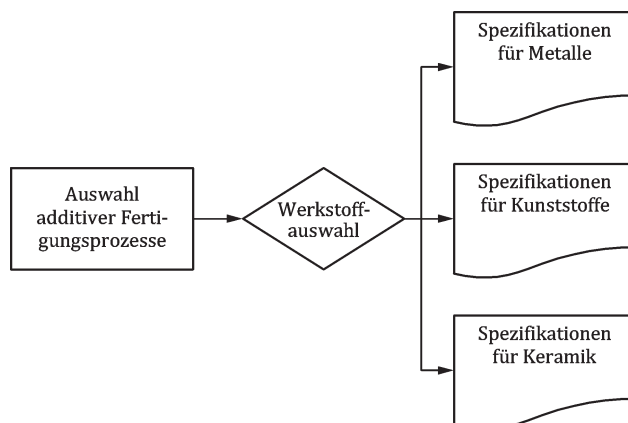


Bild 2 — Verfahren zur Identifizierung des additiven Fertigungspotentials



Material: Metall				
Technische Hauptaspekte	Pulverbett-basiertes Schmelzen	Materialauftrag	Material-extrusion	Schicht-laminierung
Oberfläche				
Rauheit				
Treppeneffekt				
Geometrische Eigenschaften				
Geometrische Genauigkeit				
Statische physikalische Eigenschaften				
Porosität				
Zugfestigkeit				
Duktilität (Verformbarkeit)				
Dynamische physikalische Eigenschaften				
Lebensdauerermüdung				

Bild 3 — Parameter für die Auswahl additiver Fertigungsprozesse

5 Gestaltungsmöglichkeiten und -beschränkungen

5.1 Allgemeines

Die additive Fertigung unterscheidet sich aus mehreren Gründen von anderen Fertigungsprozessen und diese Unterschiede führen zu einzigartigen Gestaltungsmöglichkeiten und -beschränkungen, die hier beschrieben werden. Wenn ein Bauteil wirtschaftlich mit einem konventionellen Fertigungsprozess hergestellt werden kann, sollte dieses Teil grundsätzlich nicht durch einen additiven Fertigungsprozess

hergestellt werden. Stattdessen weisen geeignete Bauteile für die additive Fertigung tendenziell komplexe Geometrien, besondere Geometrien, geringe Produktionsvolumen, spezielle Kombinationen von Eigenschaften oder Merkmalen oder eine Kombination dieser Merkmale auf. Wenn sich Prozesse oder Materialien verbessern, wird sich die Betonung auf diese Eigenschaften wahrscheinlich ändern. In Abschnitt 5 werden einige Gestaltungsmöglichkeiten hervorgehoben und übliche Beschränkungen identifiziert.

5.2 Gestaltungsmöglichkeiten

5.2.1 Hintergrund — In der additiven Fertigung werden Bauteile durch schichtweisen Materialauftrag hergestellt. Die additive Fertigung bietet aufgrund ihrer Natur sehr viel mehr Freiheit als andere Fertigungsprozesse. Ein Bauteil kann beispielsweise aus Millionen Tropfen bestehen, wenn es in einem Freistrahlmaterialeauftragsprozess hergestellt wird. Die genaue Kontrolle über Millionen von Arbeitsschritten im Mikro- bis Nanobereich ist gleichzeitig eine Möglichkeit und Herausforderung. Es besteht eine bisher nie dagewesene Vielzahl an Wechselbeziehungen zwischen Erwägungen und Fertigungsprozessvariablen, was die additive Fertigung von konventionellen Fertigungsprozessen unterscheidet. Die Fähigkeiten zur Nutzung von Gestaltungsmöglichkeiten können durch die Komplexitäten der Prozessplanung eingeschränkt werden.

5.2.2 Übersicht — Aufgrund der schichtbasierten additiven Natur können nahezu alle Bauteilformen ohne Werkzeuge wie Formen, Gesenke oder Anbauten hergestellt werden. Speziell an individuelle Personen (Kunden oder Patienten) angepasste Geometrien können wirtschaftlich hergestellt werden. Sehr anspruchsvolle geometrische Konstruktionen werden durch zelluläre Strukturen (Waben, Gitter, Schaum) oder allgemeinere Strukturen ermöglicht. Oftmals können mehrere konventionell hergestellte Bauteile durch ein einziges Bauteil oder eine kleine Anzahl von Bauteilen, das/die geometrischer komplexer als die ersetzten Bauteile ist/sind, ersetzt werden. Dies kann zu der Entwicklung von Bauteilen führen, die leichter sind und eine bessere Leistung bieten als die ersetzten Bauteile. Darüber hinaus bietet eine solche Reduzierung der Teileanzahl (die sogenannte Bauteilkonsolidierung) zahlreiche Vorteile für die anschließenden Aktivitäten. Die Montagezeit, die Reparaturzeit, die Komplexität des Produktionsbereichs, der Ersatzteilverrat und die Werkzeugbereitstellung können reduziert werden, was zu Kosteneinsparungen während der gesamten Produktlebensdauer führt. Eine weitere Erwägung ist, dass geometrisch komplexe medizinische Modelle leicht aus medizinischen Bilddaten hergestellt werden können.

5.2.3 In vielen additiven Fertigungsprozessen können die Materialzusammensetzungen oder -eigenschaften für das gesamte Bauteil verändert werden. Dies führt zu funktional abgestuften Bauteilen, in denen die gewünschte Verteilung der mechanischen Eigenschaften durch die Veränderung der Materialzusammensetzung oder der Mikrostruktur des Materials erreicht werden kann. Wenn sich effektive mechanische Eigenschaften in einem Bauteil verändern sollen, kann der Gestalter dies erreichen, indem er die Eignung additiver Fertigungsprozesse für komplexe Geometrien nutzt. Wenn eine Abwandlung der Materialzusammensetzung oder Mikrostruktur gewünscht ist, können solche Veränderungen oftmals erreicht werden, jedoch innerhalb der von dem spezifischen Prozess und der Maschine abhängigen Grenzen. Einige additive Fertigungsprozesse ermöglichen eine punktgenaue Steuerung der Materialveränderung, andere eine genaue Steuerung innerhalb einer Ebene und nahezu alle Prozesse eine genaue Steuerung zwischen Ebenen (mit Ausnahme der badbasierten Photopolymerisation). In Freistrahlmaterialeauftrag- und Freistrahlmaterialeauftragsprozessen kann die Materialzusammensetzung nahezu stufenlos Tropfen für Tropfen oder sogar durch Mischen der Tropfen verändert werden. Gleichermaßen kann der Materialeauftrag mit gerichteter Energieeintragsung unterschiedliche Materialzusammensetzungen durch Abwandlung der in das Schmelzbad injizierten Pulverzusammensetzung verändern. Eine genaue Kontrolle der Materialzusammensetzung kann in Materialextrusionsprozessen durch mehrere Auftragsköpfe erreicht werden. Pulverbettbasierte Schmelzprozesse (PBF) können beispielsweise Einschränkungen unterliegen, da Probleme bei der Trennung ungeschmolzener gemischter Pulver auftreten können. Es ist wichtig, zu bedenken, dass sich bestimmte Maschinenfähigkeiten im Lauf der Zeit verändern und weiterentwickeln werden. Der Trend geht jedoch zur Erhöhung der Flexibilität in der Materialzusammensetzung und der Fähigkeit zur Steuerung der Eigenschaften.

5.2.4 Eine wesentliche Möglichkeit besteht darin, die Gestaltung von Bauteilen zu optimieren, um einzigartige strukturelle Eigenschaften zu erzielen. Das Konzept der „funktionsorientierten Gestaltung“ kann realisiert werden, sodass ein Bauteil, dessen Funktionen mathematisch festgelegt werden können, optimiert werden kann, um diese Funktionen zu erreichen. Neue Topologie- und Formoptimierungsverfahren wurden in dieser Hinsicht entwickelt. Die daraus resultierenden Gestaltungen können sehr komplexe geometrische Konstruktionen aufweisen, innere Waben-, Gitter- oder Schaumstrukturen nutzen sowie komplexe Materialzusammensetzungen und -variationen oder eine Kombination aus beidem aufweisen. Forschungen sind in diesem Bereich erforderlich, doch einige Beispiele sind bereits verfügbar.

5.2.5 Weitere Möglichkeiten umfassen einige geschäftliche Erwägungen. Da keine Werkzeuge für die Herstellung von Bauteilen durch additive Fertigung benötigt werden, können die Vorlaufzeiten sehr kurz sein. Es werden nur wenige Investitionen in bauteilspezifische Infrastruktur benötigt, was eine Maßfertigung in der Serienproduktion und die schnelle Reaktion auf Marktveränderungen ermöglicht. Im Fall von Instandsetzungen könnte die Modernisierung von Bauteilen aus Sicht der Kosten und Vorlaufzeiten von großem Vorteil sein.

5.3 Gestaltungsbeschränkungen

5.3.1 Übersicht — Es ist hilfreich, auf Gestaltungsmerkmale hinzuweisen, die auf Situationen hindeuten, in denen die additive Fertigung wahrscheinlich nicht angewendet werden sollte. Genauer gesagt: Wenn ein Bauteil wirtschaftlich mit einem konventionellen Fertigungsprozess hergestellt werden und Anforderungen erfüllen kann, ist es wahrscheinlich nicht für die additive Fertigung geeignet. Der Gestalter sollte die Kosten, den erzielten Nutzen und die Risiken bei der Entscheidung über die Anwendung der additiven Fertigung gegeneinander abwägen.

5.3.2 Ein Hauptvorteil additiver Fertigungsprozesse besteht in ihrer Flexibilität zur Herstellung vielfältiger Bauteilformen, komplexer und individueller Formen und möglicherweise komplexer Materialverteilungen. Wenn eine Serienproduktion von Bauteilen mit einfacher Form in großen Produktionsmengen gewünscht ist, ist die additive Fertigung wahrscheinlich keine wesentliche Verbesserung im Hinblick auf die Produktionszeiten und -kosten.

5.3.3 Ein Gestalter muss sich der Auswahl an verfügbaren Materialien und der Qualität der Ausgangsmaterialien bewusst sein und wissen, wie sich die mechanischen und anderen physikalischen Eigenschaften des Materials von in anderen Fertigungsprozessen verwendeten Materialien unterscheiden. In der additiven Fertigung verwendete Materialien können unterschiedliche Merkmale und Eigenschaften haben, da sie anders verarbeitet werden als in konventionellen Fertigungsprozessen. Gestalter sollten sich bewusst sein, dass die Eigenschaften additiver Fertigungskomponenten hochempfindlich für Prozessparameter sein können und dass Prozessschwankungen ein wesentlicher Aspekt sein können, der die gestalterische Freiheit einschränkt. Darüber hinaus sollten Gestalter sich der Anisotropien bewusst sein, die oftmals bei in der additiven Fertigung verarbeiteten Materialien auftreten. In einigen Prozessen unterscheiden sich die Eigenschaften in der Aufbauebene (X-/Y-Richtungen) von den Eigenschaften in Bau-richtung (Z-Achse). Mit einigen Metallen können bessere mechanische Eigenschaften als in Schmiedeprozessen erreicht werden. Die Ermüdungs- und Schlagfestigkeit von in der additiven Fertigung hergestellten Bauteilen im Zustand „wie gebaut“ ist jedoch üblicherweise nicht so gut wie bei konventionell verarbeiteten Teilen.

5.3.4 Alle additiven Fertigungsmaschinen diskretisieren die Bauteilgeometrie vor der Fertigung eines Bauteils. Diese Diskretisierung kann unterschiedliche Formen annehmen. Die meisten additiven Fertigungsmaschinen stellen Bauteile beispielsweise schichtweise her. Im Freistrahlmaterialeintrag und Freistrahlmittelaustrag werden beispielsweise kleine Materialtropfen aufgetragen. In anderen Prozessen werden diskrete Vektorstriche (z. B. durch einen Laser) zur Materialverarbeitung verwendet. Aufgrund der Diskretisierung der Bauteilgeometrie sind die äußeren Bauteiloberflächen oftmals nicht glatt, da die Unterteilungen zwischen den Schichten sichtbar sind. In anderen Fällen können Bauteile kleine innere Hohlräume haben.

5.3.5 Die Diskretisierung der Geometrie hat darüber hinaus verschiedene andere Auswirkungen. Kleine Merkmale können schlecht geformt sein. Dünne Wände oder Streben, die im Verhältnis zur Baurichtung abgeschrägt sind, können dicker als gewünscht sein. Auch wenn eine Wand oder Strebe nahezu horizontal ist, kann sie sehr schwach sein, da nur eine relativ geringe Überlappung zwischen aufeinanderfolgenden Schichten möglich ist. Gleichmaßen können kleine negative Merkmale wie Löcher durch den entgegengesetzten Effekt beeinträchtigt werden und so kleiner als gewünscht sein und verzerrte Formen aufweisen.

5.3.6 In vielen additiven Fertigungsprozessen ist eine Nachbearbeitung erforderlich oder kann vom Endanwender gewünscht werden. Eine Vielzahl mechanischer, chemischer und thermischer Verfahren kann angewendet werden. Mehrere Arten von additiven Fertigungsprozessen nutzen Stützkonstruktionen für den Bau von Bauteilen, die entfernt werden müssen. In einigen Fällen können die Stützkonstruktionen mit Lösungsmitteln entfernt werden, während die Entfernung bei anderen Prozessen mechanisch erfolgen muss. Der zusätzliche Arbeitsaufwand, die manuelle Handhabung der Komponenten und der Zeitaufwand dieser Arbeitsschritte sollten berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollten sich Gestalter bewusst sein, dass die Anwesenheit von Stützkonstruktionen die Oberflächenqualität und Genauigkeit der gestützten Flächen beeinträchtigen kann. Neben der Entfernung der stützenden Struktur können weitere Nachbearbeitungsschritte einschließlich der Entfernung von überschüssigem Pulver, der Verbesserung der Oberflächenqualität, der maschinellen Bearbeitung, der Wärmebehandlung und Beschichtungen erforderlich oder gewünscht sein. Wenn ein Bauteil über innere Hohlräume verfügt, sollte der Gestalter dem Bauteil Merkmale verleihen, die es ermöglichen, Stützkonstruktionen, ungesintertes Pulver (PBF) oder flüssigen Kunststoff (badbasierte Photopolymerisation) aus diesen Hohlräumen zu entfernen. Je nach Anforderungen an die Genauigkeit und Oberflächenqualität müssen die Teile gegebenenfalls maschinell endbearbeitet, poliert, geschliffen, kugelgestrahlt oder strahlverfestigt werden. Metallteile können eine Wärmebehandlung beispielsweise zur Beseitigung von Restspannungen erfordern. Beschichtungen wie Lackierung, Galvanisieren oder Kunststoffinfiltration können erforderlich sein. Nachbearbeitungsschritte erhöhen die Kosten von durch additive Fertigung hergestellten Komponenten.

5.3.7 Jeder additive Fertigungsprozess hat eine begrenzte Bauhülle. Wenn ein Teil größer ist als die Bauhülle eines additiven Fertigungsprozesses, kann es in mehrere Bauteile unterteilt werden, die nach der Fertigung zusammengebaut werden müssen. Dies ist in einigen Fällen technisch oder wirtschaftlich nicht durchführbar.

6 Gestaltungserwägungen

6.1 Allgemeines

Mehrere Kategorien von Gestaltungserwägungen wurden identifiziert. Hierzu zählen Produkt-, Nutzungs-, Nachhaltigkeits-, geschäftliche, geometrische, Materialeigenschafts-, Prozess- und Kommunikations-erwägungen.

6.2 Produkterwägungen

6.2.1 Gestaltungswirkungsgrad — Der Gestalter kann Bauteilformen und -konfigurationen erzeugen, die die Leistung und Effizienz optimieren. Teile können für gewünschte Eigenschaften wie etwa minimales Gewicht, maximale Steifigkeit usw. beispielsweise durch möglichst effiziente Formgebung gestaltet werden. Darüber hinaus kann ein Teil durch die Verwendung mehrerer Materialien, komplexer Formen oder Bauteilkonsolidierung zur Erfüllung mehrerer Funktionen gestaltet werden, was erhebliche Effizienzvorteile bieten kann.

6.2.2 Bauteil- oder Produktkonsolidierung — Eine gute Gestaltungspraktik besteht darin, die Anzahl der Teile in einem Produkt oder Modul zu minimieren, sofern dies nicht zu Funktionalitätsverlusten führt. Ein Bauteil kann mit einem oder mehreren angrenzenden Bauteilen zusammengeführt werden, wenn diese aus dem gleichen Material hergestellt werden können, sich nicht relativ zueinander bewegen müssen und nicht entfernt werden müssen, um Zugang zu einem anderen Bauteil zu erhalten. Diese Praktik wird oftmals als Bauteilkonsolidierung bezeichnet und ist eine Standarderwägung der Gestaltung für die Montage.

6.2.3 Montagemerkmale — Dies ist eine Standarderwägung der Gestaltung für die Montage. Bauteile sollten mit Merkmalen gestaltet werden, die eine einfache Einfügung und Befestigung während der Montage ermöglichen. Die additive Fertigung kann die Integration von Montagemerkmalen in die meisten Bauteilgestaltungen ermöglichen, wie etwa Schnappverbindungen, Ausrichtmerkmale und Merkmale zur Stützung anderer Bauteile (Rippen, Ansätze). Die Fähigkeit der additiven Fertigung, geometrisch komplexe Gestaltungen herzustellen, bietet mehr Flexibilität/Freiheit bei der Gestaltung und Gestalten wird empfohlen, Montagemerkmale innovativ zu gestalten. Gestalter sollten darüber hinaus die Montageanforderungen beachten, wenn Kontaktflächen eine zusätzliche traditionelle maschinelle Bearbeitung erfordern. Dies gilt insbesondere für die additive Fertigung von Metallbauteilen. Es bestehen beispielsweise gestalterische Erwägungen, wenn ein Bauteil für die konventionelle maschinelle Bearbeitung nach der Montage vorgesehen ist.

6.2.4 Mehrteilige Mechanismen — In vielen additiven Fertigungsprozessen besteht die Möglichkeit, Arbeitsmechanismen zu gestalten, d. h. Teile, die sich relativ zueinander bewegen, ohne dass sekundäre Montagearbeitsschritte erforderlich sind. Kinematische Gelenke wie etwa Dreh-, Gleit- oder Nockengelenke können gestaltet werden, um die relative Bewegung zwischen den Teilen zu ermöglichen. In pulverbasierten Schmelzprozessen können Gelenke Bewegung ermöglichen, wenn Pulver entfernt werden kann. In bad-basierten Photopolymerisationsprozessen läuft flüssiger Kunststoff leicht aus den Gelenken und ermöglicht so die Bewegung. In anderen Prozessen, die Stützkonstruktionen erfordern, werden bewegliche Mechanismen ermöglicht, wenn das Material der Stützkonstruktion leicht aus den Gelenkregionen entfernt werden kann, wie etwa bei Verwendung löslicher Materialien für Stützkonstruktionen.

6.2.5 Elastische Mechanismen — Additive Fertigungsprozesse können kreative Gestaltungen komplexer 2D- und 3D-Mechanismen ermöglichen. Im Gegensatz zu mehrteiligen Mechanismen verursachen andere Arten von Mechanismen eine relative Bewegung zwischen dem Eingang und Ausgang durch gestaltete Biegemuster. Das heißt, die baulichen Elemente des Mechanismus verbiegen sich so, dass das gewünschte Eingangs-Ausgangs-Verhalten erzeugt wird. Bei der einfachsten Art elastischer Mechanismen werden einfach Stiftgelenke durch dünne Platten ersetzt, die als elastische Scharniere dienen.

6.2.6 Beziehungen zu Prozessen und Prozessketten — Die Genauigkeit und Oberflächenqualität von Bauteilen hängt von der Bauteilausrichtung und anderen Prozessvariablen ab. Eine Abfolge von Prozessen („Prozesskette“) kann erforderlich sein, um die gewünschte Genauigkeit zu erreichen und die Anforderungen an die Oberflächenqualität zu erfüllen, die von dem Gestalter zu berücksichtigen sind. Durch die Gestaltung einer geeigneten Prozesskette kann die Anwendung eines additiven Fertigungsprozesses für die Herstellung von Bauteilen ermöglicht werden, selbst wenn der Prozess alleine nicht alle Gestaltungsanforderungen erfüllen kann.

6.3 Produktnutzungserwägungen

6.3.1 Allgemeines

Gestaltungserwägungen müssen darüber hinaus auf der Art der Umgebung basieren, der das Produkt während seiner gesamten Nutzungsdauer ausgesetzt ist. Dies kann Betriebsbedingungen beinhalten, aber sich auch auf die Bedingungen während der Lagerung, Instandhaltung oder Instandsetzung beziehen. Materialeigenschaften können durch die in 6.3.2, 6.3.3, 6.3.4 und 6.3.5 beschriebenen Umgebungsbedingungen beeinflusst werden.

6.3.2 Thermische Umgebung

6.3.2.1 Expositionstemperaturbereich (Extremwerte) — Die maximalen und minimalen Temperaturen, denen das Produkt ausgesetzt ist, sollten festgelegt werden. Der Gestalter sollte sicherstellen, dass das ausgewählte Bauteilmaterial seine erforderlichen physikalischen Eigenschaften über den gesamten Temperaturbereich, dem das Produkt während seiner Betriebslebensdauer ausgesetzt ist, bewahrt. Produktgestaltungen müssen über den gesamten Temperaturbereich funktionell bleiben.

6.3.2.2 Betriebstemperaturbereich — Die Materialeigenschaften sollten die erforderliche funktionelle Leistung über den gesamten Temperaturbereich, dem das Produkt über einen Großteil seiner Betriebslebensdauer ausgesetzt ist, übertreffen. Der Gestalter sollte sicherstellen, dass das ausgewählte Bauteilmaterial seine erforderlichen physikalischen, geometrischen und Materialeigenschaften über den gesamten Betriebstemperaturbereich bewahrt.

6.3.2.3 Zyklische thermische Belastung (oder thermische Ermüdung) — Regelmäßige Temperaturschwankungen, denen das Produkt während seiner Betriebslebensdauer ausgesetzt ist, können die Materialeigenschaften dauerhaft verschlechtern (d. h. Alterung).

6.3.2.4 Wärmedehnungskoeffizient- (CTE) Eigenschaften — Die Wärmedehnung des Produkts während des Betriebs nahe oder mit den Grenzwerten seines Temperaturbereichs kann die Teilegeometrie und die Materialeigenschaften verändern. Unterschiedliche CTE zwischen angrenzenden Koeffizienten können induzierte Spannungen und potenzielle Ausfälle verursachen. Dies wird häufig nach ASTM E228 angegeben.

6.3.3 Chemische Exposition

6.3.3.1 Chemikalien — Chemikalien, die mit dem Produkt in Kontakt kommen können, sollten aufgrund der möglichen chemischen Reaktion mit dem Produktmaterial bestimmt werden.

6.3.3.2 Flüssigkeitsabsorption — Einige Materialien in der additiven Fertigung können bestimmte Flüssigkeiten, mit denen sie in Kontakt geraten, absorbieren. Dies kann dazu führen, dass das Material anschwillt, beschädigt wird oder andere unbeabsichtigte negative Folgen erleidet.

6.3.3.3 Verschlechterung/Alterung des Materials — Dies ist eine mögliche Folge des Kontakts mit gasförmigen, flüssigen oder festen Chemikalien. Darüber hinaus kann dies eine Folge des Gebrauchs, von Verschleiß usw. sein. Ein Beispiel ist Feuchtigkeit: Ein Produkt mag in trockenen (wasserarmen) Bereichen einwandfrei funktionieren und bei Betrieb in einer feuchteren Umgebung ausfallen.

6.3.3.4 Formen von Korrosion — Die umgebenden Materialien und die Umgebung, der das metallische Produkt aus der additiven Fertigung ausgesetzt sein wird, müssen verstanden werden, um alle Formen von Korrosion zu mindern.

6.3.4 Strahlungsexposition

6.3.4.1 Nicht-ionisierend — Schädliche Strahlung wie etwa sichtbares Licht, Funkwellen, Mikrowellen und geringe UV-Licht-Exposition können die Materialeigenschaften je nach Expositionsgrad beeinflussen.

6.3.4.2 Ionisierend — Alpha-, Beta-, kosmische Strahlungs-, Gammastrahlen- und Röntgenstrahlen-Expositionsgrade sind auf ihre mögliche Auswirkung auf Materialeigenschaften zu untersuchen.

6.3.5 Sonstige Exposition

6.3.5.1 Biologische Exposition — Der Kontakt mit biologischen Materialien kann zu Materialschäden und Veränderungen der Eigenschaften führen. Diese Materialien können menschliche oder tierische Körperflüssigkeiten oder Gewebe, Pflanzen oder Pflanzengewebe und Algen oder andere Mikroorganismen umfassen. Viele diese Erwägungen sind durch die US FDA oder andere internationale Vorschriften abgedeckt und Gestalter sollten auf diese relevanten Vorschriften Bezug nehmen.

6.3.5.2 Umgebungskombinationen — Kombinationen aller Umgebungserwägungen (thermisch, chemisch und Strahlung) müssen berücksichtigt werden, da Materialeigenschaften bei Auftreten mehrerer Bedingungen beeinflusst werden.

6.4 Nachhaltigkeitserwägungen

6.4.1 Unternehmen, Verbraucher und Regierungen möchten oftmals die Auswirkung eines Produkts und seines Fertigungsprozesses auf die Umwelt und natürliche Ressourcen verstehen. Nachhaltigkeit befasst sich üblicherweise mit der ökologischen Auswirkung und dem Wunsch, negative menschliche Auswirkungen zu reduzieren. Als solches gebührt dem Thema der Nachhaltigkeit Aufmerksamkeit bei der Gestaltung von Bauteilen für die additive Fertigung. Die Präsentation der Erwägungen beginnt mit dem Konzept der Reduzierung, des Recyclings und der Wiederverwendung.

6.4.2 Reduzieren — Die Reduzierung des Materialgehalts in Bauteilen kann zu erheblichen Einsparungen über die Lebensdauer eines Produkts führen. So kann beispielsweise die Reduzierung des Flugzeuggewichts in einer ganzen Flotte um 1 kg viele tausend Liter Flugzeugkraftstoff sparen und Millionen Kilogramm CO₂-Emissionen pro Jahr verhindern. Im Gegensatz zu konventionellen Fertigungsprozessen wird kein Werkzeug benötigt, was den Materialeinsatz während der Fertigung reduziert. Ein weiteres Beispiel ist der Verzicht auf Anfangsbestände für die maschinelle Bearbeitung und das Erfordernis, das meiste Material durch maschinelle Bearbeitung abzutragen, um ein komplexes Teil herzustellen. Gestalter werden ermutigt, die verfügbare Gestaltungsfreiheit zu nutzen, um kreativ möglichst effiziente Bauteile zu gestalten, die alle Anforderungen erfüllen.

6.4.3 Recycling — Recyclingfähigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit, in einem Bauteil oder Produkt verwendete Materialien zurückzugewinnen. Recyclingmaterialien werden zu Rohmaterialien für einen anschließenden Fertigungsprozess. Metalle können üblicherweise leicht zurückgewonnen werden, viele Thermokunststoffe sind (bis zu einem gewissen Grad) recyclingfähig, aber Duroplast-Polymere sind üblicherweise nicht recyclingfähig. ABS, Polycarbonat (in Extrusionsprozessen verwendet) und Polyamid (für pulverbettbasiertes Schmelzen von Polymeren) sind tendenziell recyclingfähig. Gestalter sollten jedoch die jeweiligen für additive Fertigungsprozesse verwendeten Polymermischungen prüfen. Die für den Freistrahlmaterialeinsatz und badbasierte Photopolymerisationsprozesse verwendeten Photopolymere sind üblicherweise nicht recyclingfähig.

Auch wenn die meisten Materialien technisch gesehen recyclingfähig sind, bestehen in vielen Fällen Beschränkungen, wenn bestimmte Materialien aufgrund verschiedener Faktoren wie Logistik, Trennungsproblemen oder wirtschaftlichen Erwägungen nicht dem kommerziellen Recycling zugeführt werden. Benutzern wird empfohlen, dies bei der Beurteilung dieses Aspekts der Materialauswahl zu berücksichtigen.

6.4.4 Recycling-Logos — Das ursprünglich von der Society of Plastics Industry (SPI) entwickelte Kunststoffkennzeichnungssystem schreibt die an Kunststoffbauteilen zur Angabe der jeweiligen Polymerzusammensetzung des Bauteils zu verwendenden Symbole vor. Das ASTM-Komitee D20 für Kunststoffe verwaltet derzeit das Kunststoffkennzeichnungssystem und hat eine Standardvorgehensweise hierzu als ASTM D7611-13 entwickelt. Die Kennzeichnungssymbole sind auf Verbraucherbauteilen leicht zu erkennen und werden oftmals für Gemeinde-Recyclingprogramme verwendet, um die Mitarbeiter bei der Trennung verschiedener Materialien zu unterstützen. Bauteilgestalter sollten diese Kunststoffkennzeichnungssymbole zu ihrer Gestaltung hinzufügen, wenn die Teile zu Produktionszwecken genutzt werden sollen.

6.4.5 Wiederverwendung — Die Wiederverwendung bezieht sich auf die Verwendung eines Bauteils nach seiner ursprünglichen Nutzung, ohne seine Geometrie wie im Materialrecycling zu zerstören. Wiederverwendete Bauteile werden oftmals für einen anderen Zweck eingesetzt, der keine so hohen Ansprüche an die Materialeigenschaften stellt. In anderen Fällen kann ein Bauteil wieder instandgesetzt und für seinen ursprünglichen Zweck wiederverwendet werden. Wenn ein Unternehmen eine Wiederverwendungsstrategie verfolgen möchte, sollten Gestalter Bauteile für eine erweiterte Lebensdauer gestalten. Daher ist ein Kompromiss zwischen „Reduzieren“- und „Wiederverwenden“-Zielen möglich.