

## DIN EN ISO/ASTM 52910



ICS 25.030

**Entwurf**

Einsprüche bis 2022-10-05  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN ISO/ASTM 52910:2020-02

**Additive Fertigung –  
Konstruktion –  
Anforderungen, Richtlinien und Empfehlungen  
(ISO/ASTM DIS 52910:2022);  
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO/ASTM 52910:2022**

Additive manufacturing –  
Design –  
Requirements, guidelines and recommendations (ISO/ASTM DIS 52910:2022);  
German and English version prEN ISO/ASTM 52910:2022

Fabrication additive –  
Conception –  
Exigences, lignes directrices et recommandations (ISO/ASTM DIS 52910:2022);  
Version allemande et anglaise prEN ISO ASTM 52910:2022

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-08-05 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](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nwt@din.de](mailto:nwt@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 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 59 Seiten

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO ASTM 52910:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

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

Die diesem Dokument zugrunde liegende ISO-Norm wurde auf der Grundlage einer Partnerschaftsvereinbarung zwischen ISO und ASTM International erarbeitet, die für den Bereich der Additiven Fertigung eine gemeinsame Normenentwicklung beider Organisationen zum Ziel hat sowie die Übernahme jeweiliger Normen durch die jeweils andere Organisation ermöglicht. Auf Grund dieser partnerschaftlichen Zusammenarbeit entsprechen die resultierenden Dokumente in ihrer Gestaltung in mancher Hinsicht nicht den ISO/IEC-Direktiven Teil 2. Die Gestaltung des vorliegenden Dokuments weicht daher von den Vorgaben von DIN 820-2 ab.

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 Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

|                |       |                       |
|----------------|-------|-----------------------|
| ISO 48-3       | siehe | DIN ISO 48-3          |
| ISO 527-1      | siehe | DIN EN ISO 527-1      |
| ISO 2039-2     | siehe | DIN EN ISO 2039-2     |
| ISO 2740       | siehe | DIN EN ISO 2740       |
| ISO 6892-1     | siehe | DIN EN ISO 6892-1     |
| ISO 6892-2     | siehe | DIN EN ISO 6892-2     |
| ISO 17296-2    | siehe | DIN EN ISO 17296-2    |
| ISO/ASTM 52900 | siehe | DIN EN ISO/ASTM 52900 |
| ISO/ASTM 52901 | siehe | DIN EN ISO/ASTM 52901 |

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO/ASTM 52910:2020-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 3 wurde aktualisiert;
- b) Norm redaktionell überarbeitet.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN ISO 48-3, *Elastomere oder thermoplastische Elastomere — Bestimmung der Härte — Teil 3: Gewichtbelastungs-Härte mittels der Skala der sehr niedrigen Gummihärte (VLRH)*

DIN EN ISO 527-1, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 1: Allgemeine Grundsätze*

DIN EN ISO 2039-2, *Kunststoffe — Bestimmung der Härte — Teil 2: Rockwellhärte*

DIN EN ISO 2740, *Sintermetalle, ausgenommen Hartmetalle — Zugprobestäbe*

DIN EN ISO 6892-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

DIN EN ISO 6892-2, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 2: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur*

DIN EN ISO 17296-2, *Additive Fertigung — Grundlagen — Teil 2: Überblick über Prozesskategorien und Ausgangswerkstoffe*

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

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

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO/ASTM 52910:2022-09

– Leerseite –

August 2022

**prEN ISO/ASTM 52910**

**Additive Fertigung – Konstruktion – Anforderungen, Richtlinien und Empfehlungen  
(ISO/ASTM DIS 52910:2022)**

Additive manufacturing – Design – Requirements, guidelines and recommendations  
(ISO/ASTM DIS 52910:2022)

Fabrication additive – Conception – Exigences, lignes directrices et recommandations  
(ISO/ASTM DIS 52910:2022)

## Inhalt

|                                                            | Seite |
|------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort . . . . .                             | 3     |
| Vorwort . . . . .                                          | 4     |
| 1 Anwendungsbereich . . . . .                              | 5     |
| 2 Normative Verweisungen . . . . .                         | 5     |
| 3 Begriffe . . . . .                                       | 5     |
| 4 Zweck . . . . .                                          | 5     |
| 5 Konstruktionsmöglichkeiten und -beschränkungen . . . . . | 9     |
| 5.1 Allgemeines . . . . .                                  | 9     |
| 5.2 Konstruktionsmöglichkeiten . . . . .                   | 10    |
| 5.3 Konstruktionsbeschränkungen . . . . .                  | 11    |
| 6 Gestaltungserwägungen . . . . .                          | 12    |
| 6.1 Allgemeines . . . . .                                  | 12    |
| 6.2 Produkterwägungen . . . . .                            | 12    |
| 6.3 Produktnutzungserwägungen . . . . .                    | 13    |
| 6.3.1 Allgemeines . . . . .                                | 13    |
| 6.3.2 Thermische Umgebung . . . . .                        | 13    |
| 6.3.3 Chemische Exposition . . . . .                       | 14    |
| 6.3.4 Strahlungsexposition . . . . .                       | 14    |
| 6.3.5 Sonstige Exposition . . . . .                        | 14    |
| 6.4 Nachhaltigkeitserwägungen . . . . .                    | 14    |
| 6.5 Geschäftliche Erwägungen . . . . .                     | 16    |
| 6.6 Geometrische Erwägungen . . . . .                      | 17    |
| 6.7 Erwägungen zu Materialeigenschaften . . . . .          | 20    |
| 6.7.1 Allgemeines . . . . .                                | 20    |
| 6.7.2 Mechanische Eigenschaften . . . . .                  | 20    |
| 6.7.3 Thermische Eigenschaften . . . . .                   | 21    |
| 6.7.4 Elektrische Eigenschaften . . . . .                  | 21    |
| 6.7.5 Sonstiges . . . . .                                  | 21    |
| 6.8 Prozesserwägungen . . . . .                            | 22    |
| 6.8.1 Allgemeines . . . . .                                | 22    |
| 6.8.2 Spezielle Prozesserwägungen . . . . .                | 22    |
| 6.8.3 Sonstige Erwägungen . . . . .                        | 24    |
| 6.9 Kommunikationserwägungen . . . . .                     | 25    |
| 7 Warnhinweise für Designer . . . . .                      | 25    |
| Literaturhinweise . . . . .                                | 28    |

## Bilder

|                                                                                     |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Bild 1 — Allgemeine Designstrategie für die additive Fertigung . . . . .            | 7 |
| Bild 2 — Verfahren zur Identifizierung des additiven Fertigungspotentials . . . . . | 8 |
| Bild 3 — Parameter für die Auswahl additiver Fertigungsprozesse . . . . .           | 9 |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52910:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO/ASTM 52910:2019 ersetzen.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

### Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/ASTM DIS 52910:2022 wurde von CEN als prEN ISO/ASTM 52910:2022 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (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 Normungsthemen 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](http://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](http://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](http://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.

## 1 Anwendungsbereich

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

Das Dokument ist anwendbar während der Konstruktion 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 Designerwägungen in einem Konstruktionsprojekt genutzt werden können, oder die Vorteile der Möglichkeiten des AM-Prozesses zu nutzen.

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

Die vorgesehene Zielgruppe umfasst drei Arten von Anwendern:

- Designer, die Produkte für die Fertigung in einem AM-System gestalten, und ihre Manager;
- Studenten, die mechanische Konstruktion und computergestützte Konstruktion lernen;
- Entwickler von AM-Konstruktionsrichtlinien und -Konstruktionsleitsystemen.

## 2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO/ASTM 52900.

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 <https://www.electropedia.org/>

## 4 Zweck

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

- die Möglichkeiten und konstruktiven Freiheiten, die die AM Designern bietet (Abschnitt 5);
- die Aspekte, die Designer bei der Gestaltung von Bauteilen für die additive Fertigung berücksichtigen sollten und die den Hauptinhalt dieser Richtlinien ausmachen (Abschnitt 6);
- Warnhinweise für Designer oder besonders fehleranfällige Aspekte (en: „Red Flag“ issues), die auf Situationen hinweisen, die oftmals zu Problemen in vielen additiven Fertigungssystemen führen (Abschnitt 7).

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

**4.3** Bild 2 zeigt den Prozess zur 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 oder nicht und die Identifizierung von mindestens einer Bauteileigenschaft (individuelle Anpassungen, Leichtbauweise, komplexe Geometrie), für die die additive Fertigung besonders gut geeignet ist. Diese Kriterien sind für viele Maschinenbau-Anwendungen technischer Bauteile repräsentativ, erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

**4.4** Eine Erweiterung des Felds „Auswahl additiver Fertigungsprozesse“ 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 und eine Prozesskombination identifiziert werden können, kann mit der Erwägung anderer Konstruktionsanforderungen einschließlich der Betrachtung der Oberfläche und geometrischer, statisch physikalischer und dynamisch 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.

# - Entwurf -

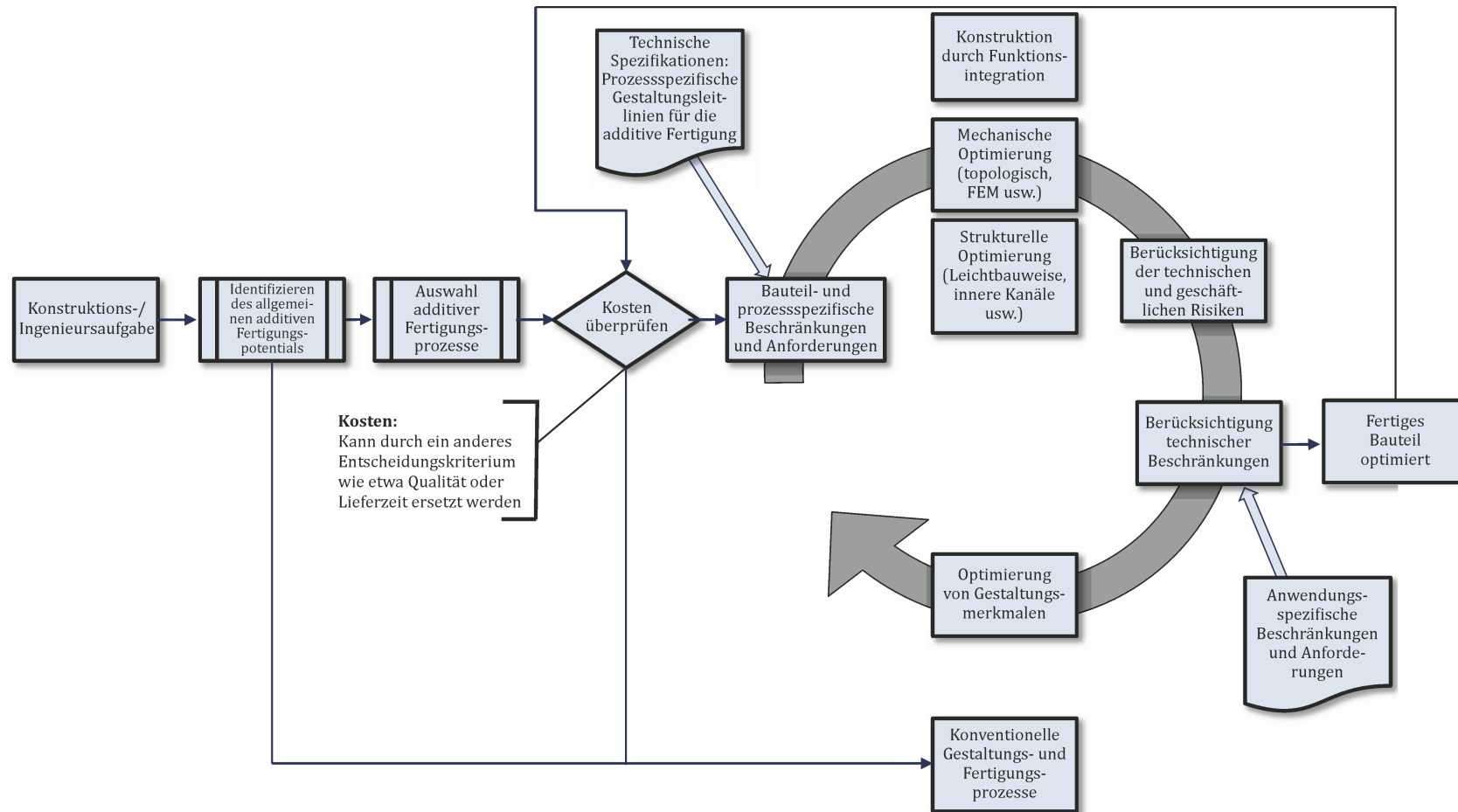


Bild 1 — Allgemeine Designstrategie für die additive Fertigung

## - Entwurf -

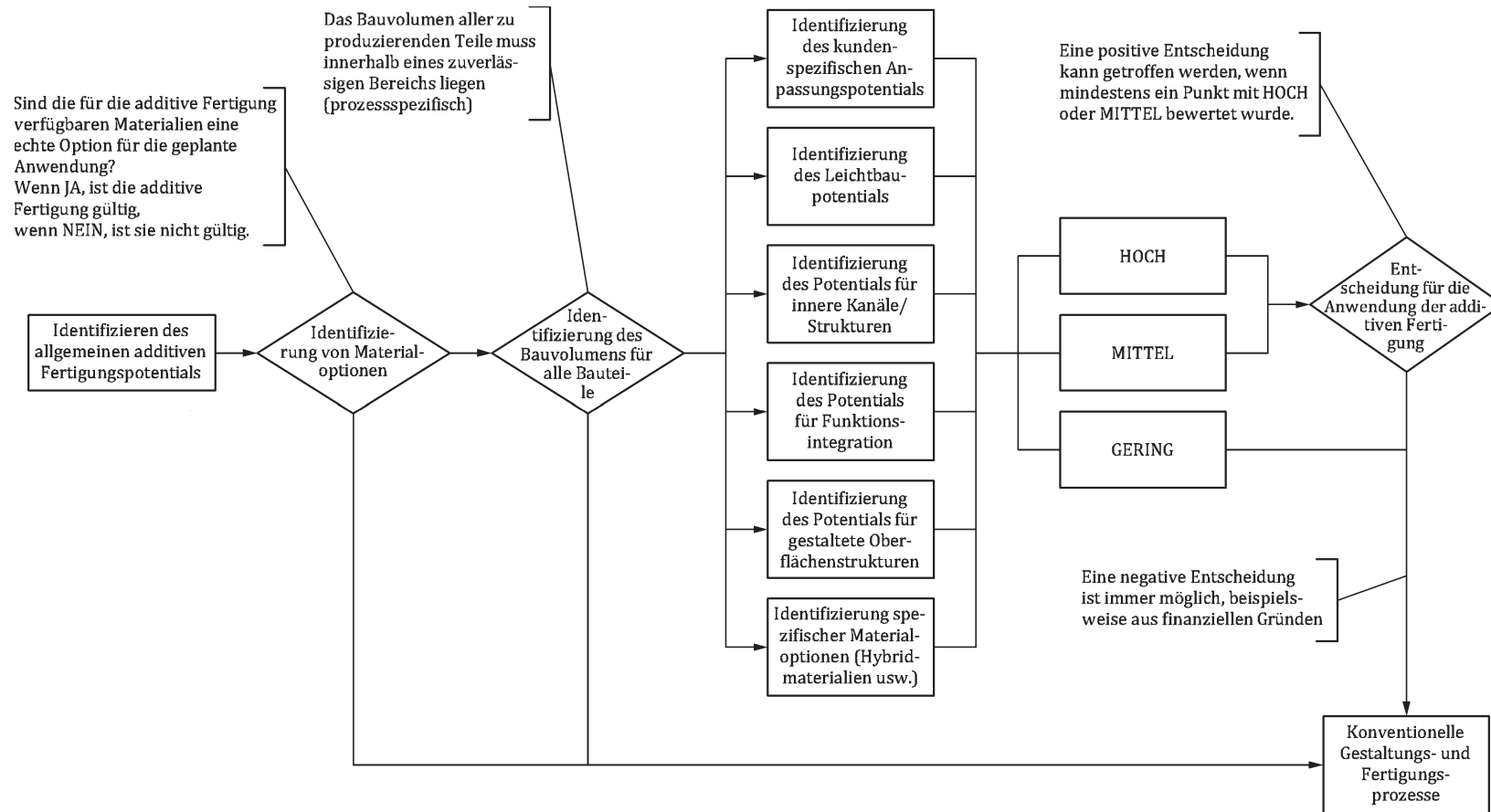
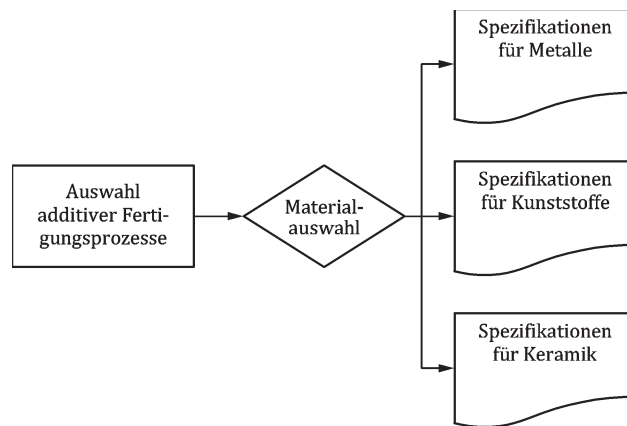


**Bild 2 — Verfahren zur Identifizierung des additiven Fertigungspotentials**



| Material: Metall                       |                                |                 |                    |                     |
|----------------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| Technische Hauptaspekte                | Pulverbett-basiertes Schmelzen | Materialauftrag | Material-extrusion | Schicht-laminierung |
| Oberfläche                             |                                |                 |                    |                     |
| Rauheit                                |                                |                 |                    |                     |
| Treppenstufeneffekt                    |                                |                 |                    |                     |
|                                        |                                |                 |                    |                     |
| Geometrische Eigenschaften             |                                |                 |                    |                     |
| Geometrische Genauigkeit               |                                |                 |                    |                     |
|                                        |                                |                 |                    |                     |
| Statische physikalische Eigenschaften  |                                |                 |                    |                     |
| Porosität                              |                                |                 |                    |                     |
| Zugfestigkeit                          |                                |                 |                    |                     |
| Duktilität (Verformbarkeit)            |                                |                 |                    |                     |
|                                        |                                |                 |                    |                     |
| Dynamische physikalische Eigenschaften |                                |                 |                    |                     |
| Ermüdung über die Lebensdauer          |                                |                 |                    |                     |
|                                        |                                |                 |                    |                     |

Bild 3 — Parameter für die Auswahl additiver Fertigungsprozesse

## 5 Konstruktionsmöglichkeiten und -beschränkungen

### 5.1 Allgemeines

Die additive Fertigung unterscheidet sich aus mehreren Gründen von anderen Fertigungsprozessen und diese Unterschiede führen zu einzigartigen Designmöglichkeiten und -freiheiten, die hier hervorgehoben werden. Wenn ein Bauteil wirtschaftlich mit einem konventionellen Fertigungsprozess hergestellt werden kann, sollte dieses Bauteil grundsätzlich nicht durch einen additiven Fertigungsprozess hergestellt werden. Stattdessen weisen für die additive Fertigung geeignete Bauteile tendenziell komplexe Geometrien, kundenindividuelle 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 Konstruktionsmöglichkeiten hervorgehoben und übliche Beschränkungen identifiziert.

## 5.2 Konstruktionsmöglichkeiten

**5.2.1 Hintergrund** — In der additiven Fertigung werden Bauteile durch schichtweisen Materialauftrag hergestellt. Die additive Fertigung bietet aufgrund ihrer Natur sehr viel mehr Freiheitsgrade als andere Fertigungsprozesse. Ein Bauteil kann beispielsweise aus Millionen Tropfen bestehen, wenn es in einem Freistrahlmaterielauftragsprozess hergestellt wird. Die genaue Kontrolle über Millionen von Arbeitsschritten im Mikrobis Nanobereich ist gleichzeitig eine Chance und eine Herausforderung. Es besteht eine bisher nie dagewesene Vielzahl an Wechselwirkungen zwischen den Erwägungen und den Fertigungsprozessvariablen, was die additive Fertigung von konventionellen Fertigungsprozessen unterscheidet. Die Fähigkeiten zur Nutzung von Konstruktionsmöglichkeiten 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 Vorrichtungen 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 kleinere Anzahl von Bauteilen, die geometrisch komplexer als die ersetzten Bauteile sind, ersetzt werden. Dies kann zur Entwicklung von Bauteilen führen, die leichter sind und eine bessere Leistung bieten als die ersetzten Bauteile. Darüber hinaus bietet eine solche Reduzierung der Bauteileanzahl (die sogenannte Bauteilkonsolidierung) zahlreiche Vorteile für die nachgelagerten Tätigkeiten. Die Montagezeit, die Reparaturzeit, die Komplexität in Produktionsbereichen, 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 innerhalb des gesamten Bauteils 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 verlangt wird, dass sich effektive mechanische Eigenschaften in einem Bauteil verändern, kann der Designer 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. Über den Bereich der additiven Fertigungsprozesse hinweg ermöglichen einige Prozesse eine punktgenaue Steuerung der Materialveränderung, andere eine genaue Steuerung innerhalb einer Schicht und nahezu alle Prozesse eine genaue Steuerung von Schicht zu Schicht (mit Ausnahme der badbasierten Photopolymerisation). Bei den Prozessen Freistrahlmaterielauftrag und Freistrah-Bindemittelauftrag kann die Materialzusammensetzung nahezu stufenlos Tropfen für Tropfen oder sogar durch Mischen der Tropfen verändert werden. Gleichmaßen kann der Materialauftrag mit gerichteter Energieeinbringung unterschiedliche Materialzusammensetzungen durch Abwandlung der in das Schmelzbad injizierten Pulverzusammensetzung hervorbringen. Eine genaue Kontrolle der Materialzusammensetzung kann in Materialextensionsprozessen durch mehrere Auftragsköpfe erreicht werden. Pulverbettbasierte Schmelzprozesse (PBF, en: powder bed fusion) können Einschränkungen unterliegen, da Probleme bei der Trennung ungeschmolzener gemischter Pulver auftreten können. Es ist wichtig, zu bedenken, dass bestimmte Maschinenfähigkeiten im Lauf der Zeit verändert und weiterentwickelt 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, das Bauteildesign zu optimieren, um einzigartige strukturelle Eigenschaften zu erzielen. Das Konzept der „funktionsorientierten Konstruktion“ 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 Designs können sehr komplexe geometrische Konstruktionen aufweisen, innere Waben-, Gitter- oder Schaumstrukturen nutzen sowie komplexe Materialzusammensetzungen und

-variationen oder eine Kombination aus beidem aufweisen. Forschung in diesem Bereich ist 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 kundenspezifische Fertigung in Serienproduktion und die schnelle Reaktion auf Marktveränderungen ermöglicht. Im Fall von Instandsetzungen könnte die Wiederaufbereitung von Bauteilen in Hinblick auf die beiden Aspekte Kosten und Vorlaufzeiten von großem Vorteil sein.

### 5.3 Konstruktionsbeschränkungen

**5.3.1 Übersicht** — Es ist hilfreich, auf Konstruktionsmerkmale hinzuweisen, die auf Situationen hindeuten, in denen die additive Fertigung wahrscheinlich nicht angewendet werden sollte. Genauer gesagt: Wenn ein Bauteil mit einem konventionellen Fertigungsprozess wirtschaftlich hergestellt werden und die Anforderungen erfüllen kann, ist es wahrscheinlich nicht für die additive Fertigung geeignet. Der Designer 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 ohne eine wesentliche Verbesserung im Hinblick auf die Produktionszeiten und -kosten wahrscheinlich nicht geeignet.

**5.3.3** Ein Designer 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 haben unterschiedliche Merkmale und Eigenschaften, da sie anders verarbeitet werden als in konventionellen Fertigungsprozessen. Designer sollten sich bewusst sein, dass die Eigenschaften von durch additive Fertigung hergestellter Komponenten hochempfindlich auf Prozessparameter reagieren und dass Prozessschwankungen ein wesentlicher Aspekt sind, der die konstruktive Freiheit einschränken kann. Darüber hinaus sollten Designer 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 Baurichtung (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. Beim Freistrahlmaterialeintrag und Freistrahlmittelauftrag werden beispielsweise kleine Materialtropfen aufgetragen. In anderen Prozessen werden diskrete Vektorpfade (z. B. durch einen Laser) zur Materialverarbeitung verwendet. Aufgrund der Diskretisierung der Bauteilgeometrie sind die äußeren Bauteiloberflächen oftmals nicht glatt, da die Zerteilung in Schichten sichtbar ist. 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 geneigt 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 auftreten kann. Gleichmaßen können kleine negative Merkmale wie Löcher den gegenteiligen Effekt haben: kleiner als gewünscht werden 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 darf 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 Designer bewusst sein, dass das Vorhandensein von Stützkonstruktionen die Oberflächenqualität und Genauigkeit der gestützten Flächen beeinträchtigen kann. Neben der Entfernung der Stützkonstruktion 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 Designer dem Bauteil Merkmale verleihen, die es ermöglichen, Stützkonstruktionen, ungesintertes Pulver (PBF) oder flüssiges Harz (VP) aus diesen Hohlräumen zu entfernen. Je nach den Anforderungen an die Genauigkeit und Oberflächenqualität kann das Bauteil maschinell endbearbeitet, poliert, geschliffen, kugelgestrahlt oder strahlverfestigt werden. Metallbauteile können eine Wärmebehandlung beispielsweise zur Beseitigung von Eigenspannungen erfordern. Beschichtungen wie Lackierung, Galvanisieren oder Harzinfiltration 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 Bauteil 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 Konstruktionserwägungen wurden identifiziert. Hierzu zählen Produkt-, Nutzungs-, Nachhaltigkeits-, geschäftliche, geometrische, Materialeigenschafts-, Prozess- und Kommunikationserwägungen.

### 6.2 Produkterwägungen

**6.2.1** *Wirksamkeit des Designs* — Der Designer kann Bauteilformen und -konfigurationen erzeugen, die die Leistung und Effizienz optimieren. Bauteile können für gewünschte Eigenschaften wie etwa minimales Gewicht, maximale Steifigkeit usw. durch möglichst effiziente Formgebung gestaltet werden. Darüber hinaus kann ein Bauteil 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 Konstruktionspraktik 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 Konstruktion für die Montage.

**6.2.3** *Montagemerkmale* — Dies ist eine Standarderwägung der Konstruktion für die Montage. Bauteile sollten mit Merkmalen gestaltet werden, die ein einfaches Einfügen und Befestigen 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 Konstruktionen herzustellen, bietet mehr Designfreiheit/-flexibilität bei der Gestaltung und Designern wird empfohlen, Montagemerkmale innovativ zu gestalten. Designer 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 konstruktive 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, funktionierende Mechanismen zu gestalten, d. h. Bauteile, die sich relativ zueinander bewegen, ohne dass sekundäre

Montagearbeitsschritte erforderlich sind. Kinematische Gelenke wie etwa Dreh-, Gleit- oder Nockengelenke können konstruiert werden, um eine relative Bewegung zwischen den Bauteilen zu ermöglichen. In pulverbasierten Schmelzprozessen können Gelenke Bewegung ermöglichen, wenn das Pulver entfernt werden kann. In badbasierten Photopolymerisationsprozessen läuft flüssiges Harz 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 Gelenkbereichen entfernt werden kann, wie etwa bei Verwendung löslichen Stützmaterials.

**6.2.5 Elastische Mechanismen** — Additive Fertigungsverfahren können kreative Designs 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 konstruierte 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 Stiftgelenke einfach 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 vom Designer zu berücksichtigen sind. Durch die Gestaltung einer geeigneten Prozesskette kann die Anwendung eines additiven Fertigungsverfahrens für die Herstellung von Bauteilen ermöglicht werden, selbst wenn der Prozess allein nicht alle Konstruktionsanforderungen erfüllen kann.

## 6.3 Produktnutzungserwägungen

### 6.3.1 Allgemeines

Konstruktionserwägungen 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 folgenden 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 Designer sollte sicherstellen, dass das ausgewählte Bauteilmaterial seine erforderlichen physikalischen Eigenschaften über den gesamten Temperaturbereich, dem das Produkt während seiner Betriebslebensdauer ausgesetzt ist, bewahrt. Produktdesigns 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 Designer 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 Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE, en: coefficient of thermal expansion)** — Die Wärmeausdehnung des Produkts während des Betriebs nahe oder an den Grenzen seines Temperaturbereichs kann die Bauteilgeometrie und die Materialeigenschaften verändern. Unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen angrenzenden Komponenten können induzierte Spannungen und potentiell Versagen 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 könnte 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 möglichen 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 müssen auf ihre mögliche Auswirkung auf Materialeigenschaften untersucht werden.

### 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 Designer 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 Konstruktion 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen im 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 die Erfordernis, das meiste Material durch maschinelle Bearbeitung abzutragen, um ein komplexes Bauteil herzustellen. Designer werden ermutigt, die verfügbare Designfreiheit zu nutzen, um kreativ möglichst effiziente Bauteile zu gestalten, die alle Anforderungen erfüllen.