

## DIN EN ISO 52931



ICS 13.020.01; 13.030.30; 13.100; 25.030

Einsprüche bis 2021-11-03

**Entwurf**

**Additive Fertigung von Metallen –  
Umweltschutz, Gesundheit und Sicherheit –  
Allgemeine Grundsätze für die Verwendung metallischer Materialien  
(ISO/ASTM DIS 52931:2021);  
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO/ASTM 52391:2021**

Additive manufacturing of metals –  
Environment, health and safety –  
General principles for use of metallic materials (ISO/ASTM DIS 52931:2021);  
German and English version prEN ISO/ASTM 52391:2021

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-09-03 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 88 Seiten

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52931:2021) 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.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 145-04-02 GA „Additive Fertigung — NWT & NAS Gemeinschaftsarbeitsausschuss Metalle“ im DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT) verantwortlich.

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 11611           | siehe | DIN EN ISO 11611              |
| ISO 12100           | siehe | DIN EN ISO 12100              |
| ISO 14116           | siehe | DIN EN ISO 14116              |
| ISO/ASTM 52900      | siehe | DIN EN ISO/ASTM 52900         |
| ISO/ASTM 52907:2019 | siehe | DIN EN ISO/ASTM 52907:2020-05 |
| IEC 80079-20-2      | siehe | DIN EN ISO/IEC 80079-20-2     |

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.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 11611, *Schutzkleidung für Schweißen und verwandte Verfahren*

DIN EN ISO 12100, *Sicherheit von Maschinen — Allgemeine Gestaltungsleitsätze — Risikobeurteilung und Risikominderung*

DIN EN ISO 14116, *Schutzkleidung — Schutz gegen Flammen — Materialien, Materialkombinationen und Kleidung mit begrenzter Flammenausbreitung*

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

DIN EN ISO/ASTM 52907:2020-05, *Additive Fertigung — Ausgangswerkstoffe — Verfahren zur Charakterisierung von Metallpulvern (ISO/ASTM 52907:2019); Deutsche Fassung EN ISO/ASTM 52907:2019*

DIN EN ISO/IEC 80079-20-2, *Explosionsfähige Atmosphären — Teil 20-2: Werkstoffeigenschaften — Prüfverfahren für brennbare Stäube*

— Leerseite —

*Titel de:* Additive Fertigung von Metallen — Umweltschutz, Gesundheit und Sicherheit — Allgemeine Grundsätze für die Verwendung metallischer Materialien (ISO/ASTM DIS 52931:2021)

*Titel en:* Additive manufacturing of metals — Environment, health and safety — General principles for use of metallic materials (ISO/ASTM DIS 52931:2021)

*Titel fr:*

## Inhalt

|                                                                                              | Seite |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                                   | 4     |
| Vorwort .....                                                                                | 5     |
| Einleitung .....                                                                             | 6     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                    | 7     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                               | 7     |
| 3 Begriffe .....                                                                             | 7     |
| 3.1 Definitionen .....                                                                       | 7     |
| 3.2 Abkürzungen .....                                                                        | 8     |
| 4 Methodik .....                                                                             | 8     |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                        | 8     |
| 4.2 Methodologie für chemische Gefährdungen .....                                            | 10    |
| 5 Quelldaten .....                                                                           | 11    |
| 5.1 Allgemeines .....                                                                        | 11    |
| 5.2 Eingangsprodukte und Nebenprodukte .....                                                 | 11    |
| 5.2.1 Sicherheitsdatenblatt .....                                                            | 11    |
| 5.2.2 Technisches Datenblatt des Produkts .....                                              | 11    |
| 5.3 Prozess .....                                                                            | 11    |
| 5.3.1 Allgemeines .....                                                                      | 11    |
| 5.3.2 Mittel zur Lagerung und Implementierung .....                                          | 12    |
| 5.4 Erfahrungswerte .....                                                                    | 12    |
| 5.4.1 Vorfallberichte .....                                                                  | 12    |
| 5.4.2 Technische und normative Überwachung .....                                             | 13    |
| 5.4.3 Messberichte und Analysen .....                                                        | 13    |
| 6 Risikobewertung .....                                                                      | 13    |
| 6.1 Identifizierung von Gefährdungen .....                                                   | 13    |
| 6.2 Chemische Sicherheitskarten .....                                                        | 13    |
| 6.2.1 Allgemeines .....                                                                      | 13    |
| 6.2.2 Identifizierung von Gefährdungen in Verbindung mit Prozesseinsätzen .....              | 14    |
| 6.2.3 Gefahren in Verbindung mit während der additiven Fertigung erzeugten Stoffen .....     | 18    |
| 6.2.4 Gefahren durch Feuer und Explosion .....                                               | 18    |
| 6.3 Erkennung von Gefährdungssituationen .....                                               | 18    |
| 6.4 Charakterisierung und Risikobewertung .....                                              | 23    |
| 6.4.1 Allgemeines .....                                                                      | 23    |
| 6.4.2 Bewertung von Risiken in Verbindung mit Kontamination, Einatmen oder Hautkontakt ..... | 23    |
| 6.4.3 Bewertung der Explosionsrisiken .....                                                  | 24    |
| 7 Präventions- und Schutzmaßnahmen .....                                                     | 25    |
| 7.1 Allgemeines .....                                                                        | 25    |
| 7.2 Arbeitsplätze .....                                                                      | 26    |
| 7.2.1 Böden und Wände .....                                                                  | 26    |
| 7.2.2 Luftstrom .....                                                                        | 26    |
| 7.2.3 Brand .....                                                                            | 27    |
| 7.2.4 Elektroanlagen .....                                                                   | 28    |
| 7.2.5 Pulverlagerung .....                                                                   | 28    |
| 7.2.6 Beste Praktiken am Arbeitsplatz für Personal .....                                     | 29    |

|                                                               |                                                      |    |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----|
| 7.3                                                           | Prozess .....                                        | 29 |
| 7.4                                                           | Organisation.....                                    | 30 |
| 7.4.1                                                         | Allgemeines .....                                    | 30 |
| 7.4.2                                                         | Schulung des Personals.....                          | 30 |
| 7.4.3                                                         | Informationen für das Personal.....                  | 30 |
| 7.4.4                                                         | Beschränkung des exponierten Personals.....          | 30 |
| 7.4.5                                                         | Reduzierung der Exposition.....                      | 31 |
| 7.4.6                                                         | Persönliche Schutzausrüstung.....                    | 31 |
| 7.5                                                           | Abfallmanagement.....                                | 33 |
| 7.5.1                                                         | Allgemeines .....                                    | 33 |
| 7.5.2                                                         | Kontaminierte Filter .....                           | 33 |
| 7.5.3                                                         | Abfall aus Tauchsaugern und Reinigungssystemen ..... | 34 |
| 7.5.4                                                         | Allgemeiner Trockenpulverabfall.....                 | 34 |
| Anhang A (informativ) Sicherheitsdatenblatt .....             |                                                      | 35 |
| Anhang B (informativ) Definition von Grenzwerten.....         |                                                      | 37 |
| B.1                                                           | Allgemeines .....                                    | 37 |
| B.2                                                           | Relevante Agenturen weltweit.....                    | 37 |
| Anhang C (informativ) Gefahren durch Feuer und Explosion..... |                                                      | 38 |
| C.1                                                           | Allgemeines .....                                    | 38 |
| C.2                                                           | Brennbarkeit von Pulver .....                        | 38 |
| C.3                                                           | Zündquellenkontrolle.....                            | 39 |
| Anhang D (informativ) Übersicht der OEL für Stoffe.....       |                                                      | 40 |
| Literaturhinweise.....                                        |                                                      | 43 |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52931:2021) 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.

### Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/ASTM DIS 52931:2021 wurde von CEN als prEN ISO/ASTM 52931:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

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.

## 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).

Das für dieses Dokument zuständige Komitee ist ISO/TC 261, Additive manufacturing, in Zusammenarbeit mit dem ASTM Committee F42, Additive Manufacturing Technologies, auf der Grundlage einer Partnerschaftsvereinbarung zwischen ISO und ASTM International mit dem Ziel, eine gemeinsame Reihe von ISO/ASTM-Normen für Additive Fertigung zu erstellen.

Dies ist die erste Ausgabe dieses Dokuments.

## Einleitung

Die Verwendung additiver Fertigungsverfahren (en: additive manufacturing) (AM) mit metallischen Ausgangswerkstoffen ist mit einer Reihe von Gefahren verbunden. Es ist daher wichtig, in einem ersten Schritt ein höheres Maß an Schutz während der Fertigung und der Installation additiver Fertigungsmaschinen oder Anlagen zu implementieren. Zu diesem Zweck wird derzeit die Norm ISO/ASTM 52938-1 erstellt, die sich mit der Sicherheit von LB-PBF-Maschinen befasst.

Darüber hinaus müssen die Anwender additiver Fertigungsanlagen die verbleibenden Risiken für Bediener nach der Installation reduzieren, damit sie nationale oder regionale sachbezogene Vorschriften für die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz erfüllen. Letztere unterscheiden sich weltweit und die Anforderungen einer Norm können sie nicht vollständig wiedergeben. Die Richtlinien und Anforderungen der Norm ISO/ASTM 52931 sind daher für Anwender additiver Fertigungsanlagen insbesondere im Hinblick auf Aspekte relevant, die nicht durch sachbezogene nationale oder regionale Vorschriften für die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz abgedeckt sind.

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument bietet einen Leitfaden und Anforderungen für die Risikobeurteilung und Implementierung von Präventions- und Schutzmaßnahmen in Bezug auf die additive Fertigung mit Pulver.

Die durch dieses Dokument behandelten Risiken betreffen alle Teilprozesse des Fertigungsprozesses einschließlich des Abfallmanagements.

Dieses Dokument legt keine Anforderungen an die Gestaltung von Maschinen/Anlagen für die additive Fertigung fest.

## 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 11611, *Protective clothing for use in welding and allied processes*

ISO 14116, *Protective clothing — Protection against flame — Limited flame spread materials, material assemblies and clothing*

ISO/ASTM 52900, *Additive manufacturing — General principles — Terminology*

ISO/ASTM 52907:2019, *Additive manufacturing — Feedstock materials — Methods to characterize metal powders*

IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres — Part 10-1: Classification of areas — Explosive gas atmospheres*

IEC 60079-10-2, *Explosive atmospheres — Part 10-2: Classification of areas — Combustible dust atmospheres*

EN 2, *Brandklassen*

EN 166, *Persönlicher Augenschutz*

ANSI Z87.1, *Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protection*

NFPA 10, *Standard for Portable Fire Extinguishers*

## 3 Begriffe

### 3.1 Definitionen

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

## 3.2 Abkürzungen

Die in diesem Dokument verwendeten Abkürzungen und Akronyme sind in Tabelle 1 aufgeführt.

**Tabelle 1 — Abkürzungen und Akronyme**

| Abkürzung | Bezeichnung                                                                                                 |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACGIH     | American Conference of Governmental Industrial Hygienists                                                   |
| AHU       | Luftbehandlungsgerät (en: Air Handling Unit)                                                                |
| AM        | Additive Fertigung (en: Additive Manufacturing)                                                             |
| ATEX      | Explosionsgefährdete Bereiche (franz: ATmospheres EXplosives)                                               |
| CLP       | Klassifizierung, Kennzeichnung, Verpackung (en: Classification, Labelling, Packaging)                       |
| CMR       | Krebserregend, erbgutverändernd, fortpflanzungsgefährdend (en: Carcinogenic, Mutagenic, Reprotoxic)         |
| EChA      | European Chemicals Agency                                                                                   |
| GHS       | Globally Harmonized System                                                                                  |
| HSE       | Gesundheit und Sicherheit, Umwelt (en: Health-Safety-Environment)                                           |
| MSD       | Störung des Bewegungsapparates (en: Musculoskeletal Disorder)                                               |
| NIOSH     | National Institute for Occupational Safety and Health                                                       |
| OEL       | Arbeitsplatzgrenzwert (en: Occupational Exposure Limit)                                                     |
| OSHA      | Occupational Safety and Health Administration                                                               |
| PSA       | Persönliche Schutzausrüstungen                                                                              |
| REACH     | Registration, Evaluation and Authorisation of CHemicals                                                     |
| UNECE     | Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (en: United Nations Economic Commission for Europe) |

## 4 Methodik

### 4.1 Allgemeines

Das in diesem Dokument beschriebene Verfahren ermöglicht es dem Anwender, das HSE-Risiko unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte zu beurteilen:

- verwendete metallische Pulver,
- AM-Prozess,
- Installationsbedingungen des AM-Systems,
- anwendbare gute Praktiken und
- Erfahrungswerte.

Die Methodologie basiert auf der Charakterisierung physischer Gefahren (z. B. Feuer und Explosion) sowie der Gefahren für die Gesundheit des Bedieners oder potenziell exponierter dritter Parteien und die Umwelt. Der gesamte Ansatz der Risikobeurteilung und Implementierung von Präventionsmaßnahmen ist in Bild 1 dargestellt und in Tabelle 2 beschrieben.

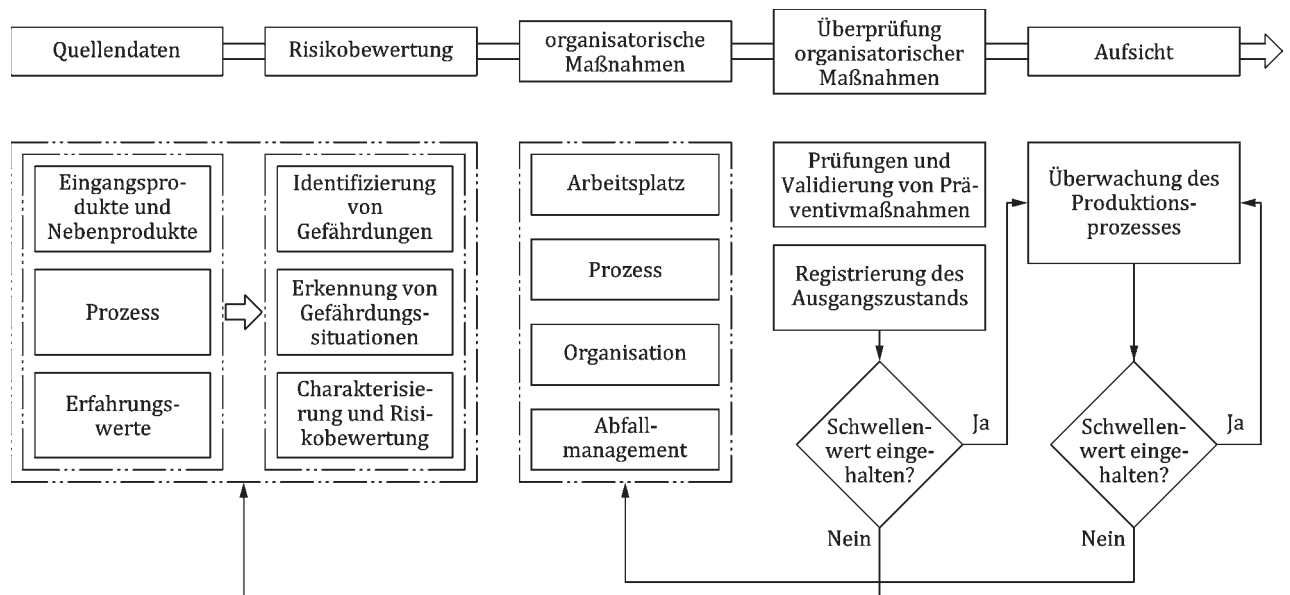


**Bild 1 — Gesamtansatz der Risikobeurteilung und Implementierung von Präventionsmaßnahmen**

**Tabelle 2 — Beschreibung des HSE-Risikopräventionsprozesses**

| Hauptschritte     | Berücksichtigte Aspekte               | Faktoren/Messwerte                                                                                                                                               |
|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quellendaten      | Eingangsprodukte und Nebenprodukte    | Sicherheitsdatenblätter, implementierte Produkte mit Klassifizierung, Toxizität und Granulometrie, Anleitungen, aktuelle Vorschriften                            |
|                   | Prozess                               | Implementierte Mittel (Räume und Arbeitsausrüstung) für die Lagerung, den Transport und die Verarbeitung von Prozesseinsätzen                                    |
|                   | Erfahrungswerte                       | Messung, Analyse, medizinische Untersuchung, Vorfälleberichte, Überwachung von Technologie und Vorschriften                                                      |
| Risikobeurteilung | Identifizierung von Gefährdungen      | Identifizierung der inhärenten Gefährdungen der Prozesseinsätze und in den verschiedenen Phasen des Prozesses erzeugten Nebenprodukte und Gefährdungssituationen |
|                   | Erkennung der Gefährdungssituationen  | Erkennung von Aufgaben und Aktivitäten mit potenzieller Gefährdung in den verschiedenen Prozessphasen einschließlich unbeabsichtigter Exposition                 |
|                   | Charakterisierung und Risikobewertung | Charakterisierung und Bewertung der Risiken für die Gesundheit, Sicherheit und Umwelt                                                                            |

| Hauptschritte                                    | Berücksichtigte Aspekte                          | Faktoren/Messwerte                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Überprüfung organisatorischer Maßnahmen          | Arbeitsplatz                                     | Layout, Eindämmungsleistung, Luftstrom/Belüftung, Luftüberwachungsfunktion                                                                                                                                           |
|                                                  | Prozess                                          | Rohmaterial, Arbeitsausrüstung, Erfassungsleistung, Abdichtung, Filterung, Sauberkeit, Zuverlässigkeit der Erkennungsfunktionen, Steuerungen, Risikokategorie in Verbindung mit Explosionen,...                      |
|                                                  | Organisation                                     | Verfahrensanweisungen, Prozessfluss, Schulungsgrad, PSA, medizinische Untersuchung, Überwachung der Räume und der Ausrüstung                                                                                         |
|                                                  | Abfallmanagement                                 | Sammlung, Lagerung und Entsorgung von Abfällen Vermeidung und Eindämmung von Leckage                                                                                                                                 |
| Überprüfung von Präventions- und Schutzmaßnahmen | Prüfungen und Validierung von Präventivmaßnahmen | Probenahme, atmosphärische Dosimetrie, Oberflächenmessungen, Eignungsprüfung                                                                                                                                         |
|                                                  | Registrierung des Ausgangszustands               | Umgebungsmessung                                                                                                                                                                                                     |
| Aufsicht                                         | Überwachung des Produktionsprozesses             | Überwachung und Management von Modifikationen des Arbeitsplatzes/Prozesses/der Organisation, regulatorische und technische Überwachung, Probenahme, atmosphärische Dosimetrie, Bereich der Oberflächenverunreinigung |

## 4.2 Methodologie für chemische Gefährdungen

Die Schritte für die Beurteilung und Kontrolle des Risikos der Exposition gegenüber gefahrbringenden chemischen Stoffen sind in Bild 2 beschrieben:

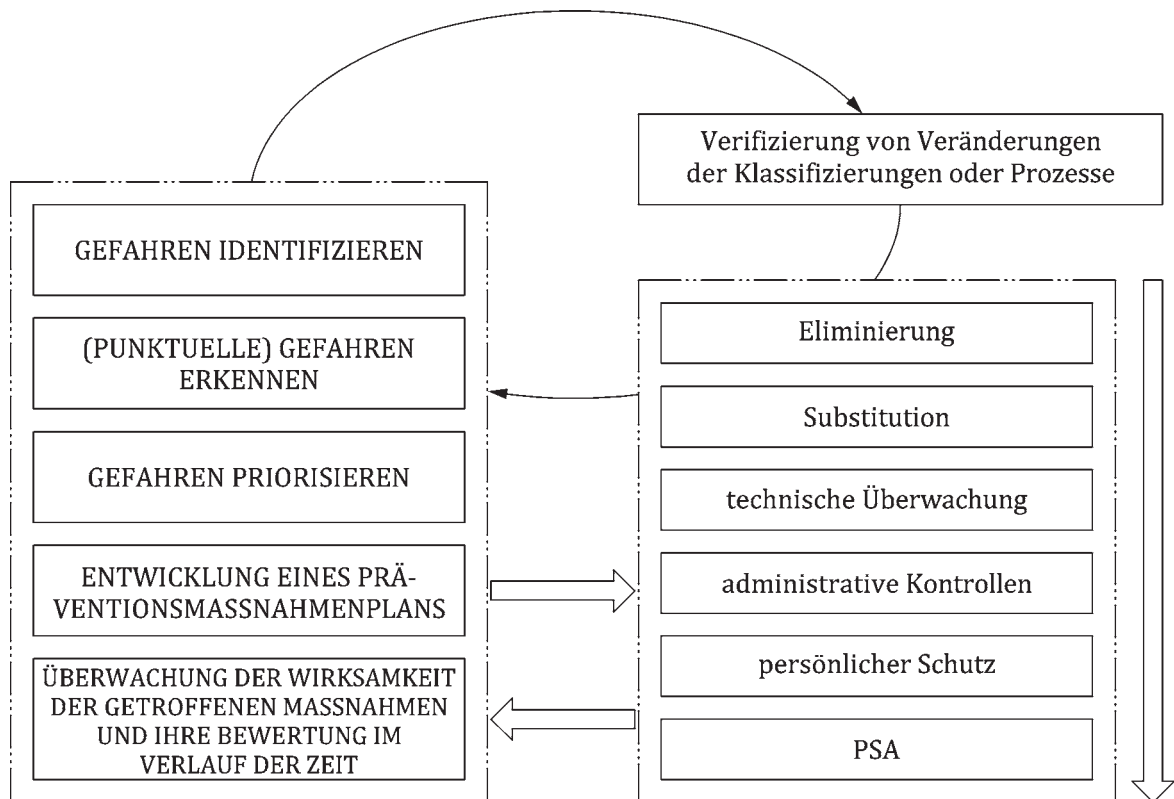


Bild 2 — Hauptschritte des Prozesses zur Vermeidung chemischer Risiken

## 5 Quellendaten

### 5.1 Allgemeines

Die anzuwendenden lokalen Vorschriften müssen berücksichtigt werden (siehe Richtlinie 89/391/EEC in Europa und OSHA in den USA).

### 5.2 Eingangsprodukte und Nebenprodukte

#### 5.2.1 Sicherheitsdatenblatt

Siehe Informationen in Anhang A.

#### 5.2.2 Technisches Datenblatt des Produkts

Das technische Datenblatt des Produkts sollte darüber hinaus Informationen über die Partikelgrößenverteilung enthalten.

Technische Spezifikationen von Metallpulvern sollten in Übereinstimmung mit ISO/ASTM 52907:2019, Anhang A angegeben werden.

### 5.3 Prozess

#### 5.3.1 Allgemeines

Die Anweisungen für die ordnungsgemäße Installation, Nutzung und Instandhaltung der Maschine müssen befolgt werden. Der Anwender sollte sicherstellen, dass die Kombination des Ausgangswerkstoffs und der Maschine berücksichtigt wurde. Der Endanwender muss eine spezifische Risikobeurteilung vorzugsweise

mit Unterstützung des Maschinenherstellers und des Lieferanten des/der Ausgangswerkstoffe/Ausgangswerkstoffe durchführen.

### 5.3.2 Mittel zur Lagerung und Implementierung

Nationale Vorschriften und organisatorische Richtlinien in Verbindung mit gefahrbringenden Stoffen müssen für die regelmäßige Anwendung metallischer Pulver berücksichtigt werden. Dies würde die Registrierung des Materials in der Organisation und Risikobeurteilungen für die einzelnen mit dem Material durchgeführten Prozesse auf der Grundlage der Informationen aus den Sicherheitsdatenblättern beinhalten. Dies würde mindestens eine hierarchische Kontrolle für Folgendes liefern:

- Pulverbezeichnung;
- Lagerort;
- Lagerungsanforderungen (gesetzliche Aspekte, Sicherheitsaspekte und Pulverqualitätsaspekte);
- Anforderungen an die manuelle Handhabung;
- Maximale Pulvervolumen für jeden Prozess;
- Nutzung von Nebenanlagen (Nassabscheider usw.);
- Anforderungen an Ordnung und Sauberkeit;
- PSA-Anforderungen.

## 5.4 Erfahrungswerte

### 5.4.1 Vorfälleberichte

Wenn ein Vorfall in Bezug auf einen Bediener einer Einrichtung auftritt, muss das Unternehmen dem Prüfer der Einrichtung einen Bericht mit einer Analyse der Ursachen des Vorfalls sowie seiner Auswirkungen und Konsequenzen für Personen und die Umwelt vorlegen. Die Beschreibung in dem Vorfallbericht muss die von dem Zwischenfall betroffene Anlage enthalten:

Wenn ein Vorfall in Bezug auf einen Bediener einer Einrichtung auftritt, sollte das Unternehmen einen Bericht mit einer Analyse der Ursachen des Vorfalls sowie seiner Auswirkungen und Konsequenzen für Personen und die Umwelt vorlegen. Die folgende Beschreibung ist für den Zwischenfallbericht sinnvoll:

- Beschreibung des Prozesses und seiner Ausrüstung: Implementierung, beteiligte Produkte, Betriebsbedingungen im Normalbetrieb, Verfahrensanweisungen, Regeln, Steuerungsarbeitsschritte, Instandhaltung, Reinigung usw.;
- Sicherheitsmaßnahmen (Prävention, Schutz), Verfahrensanweisungen, Qualifikationen, Ausbildung;
- Umstände, Kontext und Chronologie des Vorfalls:
- Betrieblicher Kontext vor und während des Zwischenfalls, Produktzustand, Identifizierung von Abweichungen vom Normal, Zeugenberichte, aktuelle Interventionen (Instandhaltung, Kontrolle, Inspektionen, Befragungen, Arbeit, andere Vorfälle...);
- Chronologie der Ereignisse und des Vorfallmanagements (anwesende Intervenierende, getroffene Maßnahmen, Datum/Uhrzeit...);
- sonstige Erkenntnisse;

- Charakterisierung der Konsequenzen:
- experimentelle Konsequenzen, um Zweifel auszuräumen (Messung, Rekonstruktion des Zwischenfalls, Produktcharakterisierung);
- Charakterisierung durch Modellierung (z. B. Feuer an einem AM-Arbeitsplatz);
- Empfehlungen: Prävention, Erkennung, Schutz, Management von Aktivitäten.

#### 5.4.2 Technische und normative Überwachung

Technische und/oder normative Dokumente sollten zur Verfügung stehen und geprüft werden, und der AM-Prozess sollte innerhalb eines Zeitraums von weniger als 2 Monaten ab dem Datum der Veröffentlichung bei Bedarf aktualisiert werden.

#### 5.4.3 Messberichte und Analysen

Alle Emissionsmessungen bei Empfang der Ausrüstung oder im normalen Betrieb sowie die Historie der Expositionsmessungen sind nützliche Rückmeldungen für die Risikobeurteilung oder Neubeurteilung.

Wenn eine Risikobeurteilung zeigt, dass mindestens eine Gefährdungssituation einer regulatorischen OEL unterliegt, müssen die Expositionswerte in Übereinstimmung mit den Vorschriften kontrolliert werden.

ANMERKUNG Es bestehen derzeit keine bekannten allgemeinen Fälle im Bereich der AM mit metallischen Werkstoffen, die eine Intervention einer akkreditierten Stelle erfordern, doch dies kann nicht ausgeschlossen werden.

## 6 Risikobewertung

### 6.1 Identifizierung von Gefährdungen

Alle gefahrbringenden Chemikalien müssen identifiziert werden. Der Präventionsansatz besteht darin, die Anwesenheit solcher Produkte und alle Arbeitssituationen, in denen Bediener und anderes Personal exponiert sein könnten, systematisch zu identifizieren.

### 6.2 Chemische Sicherheitskarten

#### 6.2.1 Allgemeines

Für AM-Arbeitsplätze und Lagerorte für Ausgangswerkstoffe wird die Verwendung chemischer Sicherheitskarten (CSC) dringend empfohlen und ist je nach lokalen Vorschriften verbindlich. Chemische Sicherheitskarten liefern klare und prägnante wesentliche Gesundheits- und Sicherheitsinformationen über Chemikalien. Dies beinhaltet Informationen zu Gefährdungen, der erforderlichen PSA und im Fall eines Unfalls oder einer Leckage zu treffende Maßnahmen.

Wenn keine allgemein anwendbare chemische Sicherheitskarte in der in der folgenden Anmerkung erwähnten Datenbank enthalten ist, wird dem Arbeitgeber empfohlen eine chemische Sicherheitskarte zu erstellen.

ANMERKUNG Eine umfassende Datenbank direkt anzuwendender Karten wurde im Rahmen des „International Chemical Safety Cards (ICSC)“-Projekts erstellt. Dieses Projekt ist eine Zusammenarbeit zwischen der International Labour Organization (ILO) und der World Health Organization (WHO) in Kooperation mit der Europäischen Kommission. Für weitere Informationen wird auf die folgenden Literaturhinweise verwiesen:

<https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.home>

<https://www.who.int/ipcs/publications/icsc/en/>

<https://www.cdc.gov/niosh/ipcs/default.html>

## 6.2.2 Identifizierung von Gefährdungen in Verbindung mit Prozesseinsätzen

### 6.2.2.1 Allgemeines

Die folgenden Anforderungen müssen erfüllt werden, um die Gefährdungen in Verbindung mit der Handhabung von Metalllegierungen in Pulverform zu identifizieren:

- die für den Produktions- und Nutzungsort relevanten regulatorischen Anforderungen müssen berücksichtigt werden;
- die mit jedem metallischen Element in der Legierung verbundenen Gefährdungen müssen nach Legierungsfamilien geordnet identifiziert werden.

Anhang A enthält einen Leitfaden für das Verständnis von Sicherheitsdatenblättern (SDS).

Anwender sollten regelmäßig prüfen, ob aktualisierte Versionen der SDS verfügbar sind.

### 6.2.2.2 Kennzeichnung von Gefahrstoffen

Die in den von dem Lieferanten zur Verfügung gestellten Sicherheitsdatenblättern enthaltenen Klassifizierungsinformationen sollten berücksichtigt werden. Die Sicherheitsdatenblätter müssen in der Sprache des Empfängerlands verfasst sein und jedem Produkt beiliegen.

ANMERKUNG 1 In europäischen Ländern stehen Klassifizierungsinformationen in der Klassifizierungs-, Kennzeichnungs- und Verpackungsverordnung zur Verfügung. In anderen Ländern empfiehlt es sich, die nationalen Vorschriften oder andernfalls die GHS-Verordnung zu prüfen.

Die CLP-Verordnung liefert innerhalb der Europäischen Union die für Chemikalien anwendbare Klassifikation. Chemikalien sind in den folgenden 3 Familien klassifiziert:

- Stoff (einzelne chemische Elemente: Aluminium, Eisen, Titan usw.);
- Mischungen (in Form von Rohmaterialien: loses Pulver, Legierungen usw.);
- Artikel (halbfertige Erzeugnisse und fertige Erzeugnisse: Stäbe, Bleche, gefertigte Produkte usw.).
- Bei Legierungen darf die Gefährdung nur im Fall fehlender spezifischer Daten als Summe der Gefährdungen der Stoffe auf der Grundlage der Klassifizierungsregeln bewertet werden.

ANMERKUNG 2 Die Verordnung über die Klassifizierung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen, die aktuell und auf der Website der ECHA verfügbar ist, ermöglicht es, zu prüfen, ob Abschnitt 2 des Sicherheitsdatenblatts des Herstellers konform ist, siehe:

<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/cl-inventory-database>

ANMERKUNG 3 Zwei Quellen sind für die Erstellung der Klassifizierung verfügbar:

- EU-Mitgliedsstaaten; diese Klassifizierung gilt als „harmonisiert“, und
- Hersteller, die sich regelmäßig in Konsortien treffen; diese Klassifizierung wird als „gemeinsame Vorlage“ bezeichnet.

REACH-Dateien haben die Anzahl im Rahmen dieser zweiten Klassifizierung erhöht.

ANMERKUNG 4 Das GHS-System der Klassifizierung und Kennzeichnung von Chemikalien (en: GHS System of Classification and Labelling of Chemicals) ist eine internationale Initiative unter der Leitung der UNECE. Die GSH UNECE ist gleichzeitig an der Erstellung von Richtlinien für den sicheren Transport von Chemikalien beteiligt.

ANMERKUNG 5 Auch wenn die UNECE keine gesetzlichen Vorschriften festlegt, ist beabsichtigt, die von der UNECE vorgeschlagenen Richtlinien in ein lokales verordnungsrechtliches und gesetzliches Rahmenwerk der beteiligten Regierungen umzusetzen. Die UNECE-Website bietet eine Liste der teilnehmenden Länder und des Status der Implementierung in diesen Ländern. Dies beinhaltet Links zu den lokalen Regierungsbehörden und ratifizierten Texten.

[https://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/implementation\\_e.html](https://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/implementation_e.html)

ANMERKUNG 6 Auch wenn in dieser Norm der Begriff GHS frei in dem Wissen verwendet wird, dass die GHS-Richtlinien weltweit implementiert sind oder implementiert werden sollen, obliegt es dem Leser, den Status der lokalen Implementierung zu prüfen.

### 6.2.2.3 Gefährdungen in Verbindung mit der Art von Produkten

Gefährdungen sind in Abschnitt 2 des Sicherheitsdatenblatts angegeben. Der Anwender muss diese Gefährdungen berücksichtigen.

Das chemische Risiko hängt von der Gefährdung (siehe Tabelle 4) und der Exposition ab. Die Exposition gegenüber chemischen Gefährdungen kann hauptsächlich über drei Arten des Eindringens - Einatmen, Hautkontakt und Verschlucken - auftreten.

Die Hauptwege für die Exposition gegenüber Metallen am Arbeitsplatz sind grundsätzlich Einatmen (insbesondere in Pulverform) sowie Hautkontakt (Pulver und Drähte).

ANMERKUNG 1 OEL (Arbeitsplatzgrenzwerte) für die Hautexposition fehlen und der Anwender ist für die Entscheidung über Hautkontaminationskriterien verantwortlich. Ressourcen sind als NIOSH Skin Notations verfügbar:

[https://www.cdc.gov/niosh/topics/skin/skin-notation\\_profiles.html](https://www.cdc.gov/niosh/topics/skin/skin-notation_profiles.html)

und die ACGIH liefern gegebenenfalls Anmerkungen zu Haut und Empfindlichkeit für Metalle;

ANMERKUNG 2 Für Europa liefern REACH und die EChA einige Informationen.

Legierungen sind grundsätzlich als Stoffe zu betrachten. Nur im Fall mangelnder ausreichender Daten für eine Legierung muss für jedes Metallelement einer Legierung eine Expositionsbeurteilung durchgeführt werden, um eine Referenz für das chemische Risiko in Verbindung mit der Exposition durch Einatmen zu erstellen.

ANMERKUNG 3 Diese Daten sind in Abschnitt 8 des Sicherheitsdatenblatts angegeben (siehe Anhang A).

Die relevanten nationalen Vorschriften haben Vorrang vor allen anderen Referenzen. Wenn jedoch kein OEL in den anzuwendenden Vorschriften angegeben ist oder ein erheblicher Unterschied zu aktuelleren Grenzwerten besteht, wird empfohlen, eine Referenz zu wählen, die strenger ist als die anzuwendenden Vorschriften. Der folgende OEL gilt für alle Partikel oder Stäube ohne spezifische Wirkung:

- 10 mg/m<sup>3</sup> für die gesamte Fraktion;
- 5 mg/m<sup>3</sup> für die atembare, einatembare oder alveolare Fraktion.

Ein Stoff, der nicht in der Verordnung über die Klassifizierung, Kennzeichnung und Verpackung klassifiziert ist und einen Arbeitsplatzgrenzwert aufweist, der mit einer dieser Referenzen identisch ist, ist kein Stoff mit einem spezifischen chemischen Risiko. Diese Referenzen sind daher keine Indikatoren oder Einflussfaktoren für die Toxizität eines Legierungspulvers.

ANMERKUNG 4 Die „atembare Fraktion“, „alveolare Fraktion“ oder „einatembare Fraktion“ ist die effektiv eingeatmete Fraktion, die die Lungenalveolen erreicht, wo ein Großteil der Fraktion in das System der Person eindringen kann.

ANMERKUNG 5 Die europäische GESTIS-Datenbank enthält OEL-Werte für verschiedene Länder:

<https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-internationale-grenzwerte-fuer-chemische-substanzen-limit-values-for-chemical-agents/index-2.jsp>.

Die europäischen Vorschriften werden entwickelt und bestimmte neue strenge Arbeitsplatzgrenzwerte können festgelegt werden.

#### 6.2.2.4 Gefährdungen in Verbindung mit der Partikelgrößenverteilung

Die Partikelgrößenverteilung ist ein wichtiger bei der Prävention zu berücksichtigender Parameter. Eine hohe Konzentration an feinen Partikeln erzeugt Gesundheitsrisiken aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Partikel (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3 — Auswirkungen von Partikeln auf die Gesundheit in Abhängigkeit von der Partikelgrößenverteilung**

| Partikeldurchmesser <sup>a</sup>                                                                                          | Auswirkungen auf die Gesundheit                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| weniger als 100 µm                                                                                                        | Leichtes Eindringen in die Nasenhöhlen                                                                                                                                    |
| zwischen 5 µm und 100 µm                                                                                                  | Eingefangen durch Aufprall in der Nasenhöhle, der Rachenhöhle und dem Kehlkopf<br>Kann plötzlichen Richtungsänderungen nicht folgen und kollidiert mit Wänden oder Haaren |
| zwischen 1 µm und 5 µm                                                                                                    | Die meisten Partikel setzen sich durch Sedimentation in der Luftröhre, den Bronchien und den Bronchiolen ab                                                               |
| weniger als 1 µm                                                                                                          | Erreichen die Alveolen und können immunologische und Entzündungsreaktionen auslösen                                                                                       |
| <sup>a</sup> In bestimmten Zusammenhängen könnte der aerodynamische Partikeldurchmesser nach ISO 18158 von Bedeutung sein |                                                                                                                                                                           |

ANMERKUNG Siehe EN 481 für Einzelheiten zu der entsprechenden Definition der Partikelgrößen.

**ACHTUNG—** Die Größe der Partikel wird in den SDS nicht angegeben und muss trotzdem berücksichtigt werden. Die Größe der Partikel von ungenutztem Ausgangswerkstoff nach Angabe des Herstellers in dem technischen Datenblatt oder anderen Dokumenten ist gegebenenfalls nicht indikativ für die Größe der Partikel, die während der Handhabung, des Druckens oder anderer Aufgaben freigesetzt werden können. Jedes Risiko in Verbindung mit der Größe von Pulverpartikeln muss berücksichtigt werden.

#### 6.2.2.5 Je Stoff identifizierte Gefährdungen

Eine nicht erschöpfende Liste der identifizierten OEL nach Stoffen (Verbindungen und oxidierte Formen) ist in Anhang D enthalten.

#### 6.2.2.6 Je Legierungsfamilie identifizierte Gefährdungen

Die nach Legierungsfamilien identifizierten Gefährdungen sind in Tabelle 4 aufgelistet.

**Tabelle 4 — Gefährdungen je Legierungsfamilie**

| Basis                                                                                                                                                                                                                                       | Legierungen                                           | Familie des Stoffs                          | Entflammbarkeit und/oder Explosionsrisiko | Legierung, die 1 oder mehrere CMR-Stoffe enthält <sup>a)</sup> | Legierung, die keinen CMR-Stoff enthält <sup>b)c)</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Al                                                                                                                                                                                                                                          | AlSi und Derivate                                     | Al, Si, Mg, Ti                              | Ja                                        | Ti                                                             | sonstige                                                |
| Co                                                                                                                                                                                                                                          | Superlegierung: H188, Inconel 783, ...                | Co, Al, B, C, Cr, Fe, La, Nb, Ni, Si, Ti, W | SDS zu prüfen                             | Cr, Co, Ni, Ti                                                 | sonstige                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                             | Stellit 6, 12, 21, ...                                | Co C, Cr, Mo, Ni, W                         | SDS zu prüfen                             | Co, Cr, Ni                                                     | sonstige                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                             | CoCr und Derivate                                     | Co, Cr, Mo, V                               | SDS zu prüfen                             | Cr, Co, V                                                      | sonstige                                                |
| Cu                                                                                                                                                                                                                                          | CuCr1Zr                                               | Cu, Cr, Zr                                  | SDS zu prüfen                             | Cr                                                             | sonstige                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                             | CuNi2CrSi (CuNi2)                                     | Cu, Ni, Cr, Si                              | SDS zu prüfen                             | Ni, Cr                                                         | sonstige                                                |
| Fe                                                                                                                                                                                                                                          | Nichtrostender Stahl: 316L, 420, ...                  | Fe, Cr, Mo, Mn, Nb, Ni,                     | Ja                                        | Cr, Ni                                                         | sonstige                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                             | aushärtbare nichtrostende Stähle: 15–5PH, 17–4PH, ... | Fe, Ni, Cr, Mo, Cu, C                       | Ja                                        | Cr, Ni                                                         | sonstige                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                             | Martensitaushärtender Stahl: 1.2709                   | Fe, Ni, Co, Mo, Ti, Al, C                   | Ja                                        | Co, Ni, Ti                                                     | sonstige                                                |
| Ni                                                                                                                                                                                                                                          | Strukturelles Aushärten: Hastelloy, Inconel 625, ...  | Ni, C, Co, Cr, Fe, Mo, Nb, W                | SDS zu prüfen                             | Cr, Co, Ni                                                     | sonstige                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                             | Aushärtbar<br>Inconel 718, Waspaloy, ...              | Ni, Al, B, Co, Cr, Fe, Mo, Nb, Ta, Ti, W    | SDS zu prüfen                             | Cr, Co, Ni, Ti                                                 | sonstige                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                             | Reinnickel: Ni200, Ni201, ...                         | Ni                                          | SDS zu prüfen                             | Ni                                                             |                                                         |
| Ti                                                                                                                                                                                                                                          | Ti-Legierungen                                        | Al, Mo, Sn, Si, V, Zr                       | Ja                                        | Ti, V                                                          | sonstige                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                             | TiAl und Derivate                                     | B, Al, Nb, Mo                               | Ja                                        | Ti                                                             | sonstige                                                |
| <sup>a</sup> Stoffe, die ein CMR-Risiko darstellen oder darstellen können.<br><sup>b</sup> Substanzen, die kein CMR-Risiko darstellen.<br><sup>c</sup> Die Bioverfügbarkeit der Stoffe entspricht nicht linear dem Gehalt in der Legierung. |                                                       |                                             |                                           |                                                                |                                                         |
| ANMERKUNG Die Tabelle ist nicht vollständig, d.h. nichtmetallische Stoffe in den Legierungen sind nicht enthalten. In diesen Fällen enthält das Sicherheitsdatenblatt relevante Informationen.                                              |                                                       |                                             |                                           |                                                                |                                                         |

### 6.2.3 Gefahren in Verbindung mit während der additiven Fertigung erzeugten Stoffen

Während des Prozesses erzeugte Stoffe müssen berücksichtigt werden. Die Ausgangswerkstoffe können mit Verbindungen in der Umgebung reagieren und andere Stoffe mit unterschiedlichen Zuständen bilden.

Der Einsatzstoff kann während des additiven Fertigungsprozesses ein nichtklassifiziertes Metall sein, dessen Anwendung eine chemische Umwandlung induziert (z. B. Oxidation) und Spezies bildet, die potenziell als gefahrbringend oder als krebserregend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend (CMR-Stoffe) klassifiziert werden können.

Im Folgenden sind einige Beispiele aufgeführt:

- Vanadiumpentoxid  $V_2O_5$  ist wesentlich gefahrbringender als elementares Vanadium.
- Chrom ist in seiner Form als Chrom (VI)-Oxid gefahrbringend, aber Chrom (III)-Oxid stellt andere Gefahren dar. Die Spezifizierung ist daher für dieses Element signifikant.

### 6.2.4 Gefahren durch Feuer und Explosion

Die Anwendung irgendeiner Art von Metallpulver kann zu einer Feuer- oder Explosionsgefahr führen. Der Anwender muss sich der Brennbarkeit des Pulvers bewusst sein. Wenn diese Informationen über die Brennbarkeit des Pulvers nicht von dem Pulverlieferanten angegeben werden siehe Anhang C für eine Anleitung. Eine zusätzliche Staubexplosionsgefahr besteht, wenn entflammbares Material in Pulverform in der Luft gelöst wird und eine Staubwolke bildet. Darüber hinaus können Feinpartikel während der additiven Fertigungsprozesse auf der Grundlage des Schmelzens von Metallpulver Kondensation durch verdunstete Materialien bilden. Die verarbeitete Legierung kann Kondensate oder Dämpfe enthalten, die oftmals entflammbar und/oder aufgrund ihrer typischen kleinen Größe luftentzündlich sein können.

Für mit Wasser reagierende Werkstoffe wie etwa einige Aluminium- und Titanlegierungen kann die Bildung entflammbarer Gase eine zusätzliche Feuer- und Explosionsgefahr darstellen. Diese Gase können bei Kontakt mit Wasser wie etwa in einem explosions sicheren Staubsauger, der einen Wassereindringfilter verwendet, erzeugt werden. Wenn dieses Gas in ausreichender Konzentration vorhanden ist, kann es durch die nachfolgenden Zündquellen entzündet werden.

Bei Verwendung solcher entflammbaren Materialien müssen alle Zündquellen in der Nähe entfernt werden. Diese Zündquellen umfassen unter anderem statische Entladung oder statische Elektrizität, heiße Oberflächen, offene Flammen und unter Spannung stehende Stromkreise. Der Anwender ist dafür verantwortlich, die in den Betriebsanleitungen der Systemhersteller beschriebenen Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Darüber hinaus müssen ausreichende Maßnahmen getroffen werden, um die statische Entladung zu begrenzen. Hierzu zählen die Verwendung geerdeter antistatischer Geräte, antistatischer Arbeitsflächen und Böden, antistatische Kleidung und die Erdung des Personals.

## 6.3 Erkennung von Gefährdungssituationen

Um eine Risikobeurteilung durchzuführen, muss jeder Schritt des Prozesses und für jeden Prozessschritt die Exposition in Routinesituationen (Produktion, Reinigung usw.) und während gelegentlicher Aktivitäten (Instandhaltung, Unfall usw.) definiert werden. Siehe Tabelle 5.

**Tabelle 5 — Anleitungsliste für die Erkennung von Gefährdungssituationen**

| Schritt des Gesamtprozesses | Arbeitsschritt in dem Schritt                                     | Erkannte Hauptrisiken                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vor dem Gebrauch            | Annahme und Umpacken des Ausgangswerkstoffs (Rohmaterialien)      | Gesundheitsrisiken (Pulver): Größe oder chemische Eigenschaften – Exposition durch Einatmen oder Hautkontakt für schlecht abgedichtete, verschmutzte oder beschädigte Behälter oder während des Umfüllens in andere Behälter           |
|                             |                                                                   | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf                                                                                                            |
|                             |                                                                   | Risiken durch manuelle Handhabung (MSD)                                                                                                                                                                                                |
|                             | Lagerung von Ausgangswerkstoffen (Rohmaterialien)                 | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf                                                                                                            |
|                             | Übertragung von Ausgangswerkstoff (Rohmaterialien) in den Prozess | Gesundheitsrisiko (Pulver): Größe oder chemische Eigenschaften – Exposition durch Einatmen oder Hautkontakt für schlecht abgedichtete, verschmutzte oder beschädigte Behälter                                                          |
|                             |                                                                   | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf                                                                                                            |
|                             |                                                                   | Risiken durch manuelle Handhabung (MSD)                                                                                                                                                                                                |
| Verwendung                  | Vorbereiten des Ausgangswerkstoffs                                | Gesundheitsrisiko (Pulver): Größe oder chemische Eigenschaften – Exposition durch Einatmen oder Hautkontakt während der Übertragung des Pulvers                                                                                        |
|                             |                                                                   | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf                                                                                                            |
|                             |                                                                   | Risiken durch manuelle Handhabung (MSD)                                                                                                                                                                                                |
|                             | Laden des Ausgangswerkstoffs (Rohmaterial) in die Maschine        | Gesundheitsrisiko (Pulver): Größe oder chemische Eigenschaften – Exposition durch Einatmen oder Hautkontakt während des Befüllens der Behälter der Maschinen bei Übertragen des Pulvers                                                |
|                             |                                                                   | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf                                                                                                            |
|                             |                                                                   | Risiken durch manuelle Handhabung (MSD)                                                                                                                                                                                                |
|                             | In situ-Fertigung in der Maschine                                 | Gesundheitsrisiko (Pulver) – Exposition gegenüber Zersetzungsprodukten durch Einatmen oder Hautkontakt: CO, Metalloxide und Aldehyde, wenn die Maschine schlecht abgedichtet ist. Sauerstoffmangel durch die Verwendung von Inertgasen |

| Schritt des Gesamtprozesses | Arbeitsschritt in dem Schritt                                                                                                                                                                                      | Erkannte Hauptrisiken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |                                                                                                                                                                                                                    | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf, wenn die Arbeitsatmosphäre nicht inert ist                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                             |                                                                                                                                                                                                                    | Mechanisches Risiko in Verbindung mit beweglichen Teilen der Maschine, wenn solche Teile zugänglich sind                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                    | Risiko durch nichtionisierende Strahlung – Exposition gegenüber Laserstrahlen, wenn keine Abschirmung vorhanden ist                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Ende der Nutzung            | Rückgewinnung des Ausgangswerkstoffe/<br>Materials<br>Rückgewinnung des Teils<br>Reinigung des Teils<br>Reinigung der Maschine<br>Überführung der Teile in die Nachbearbeitung<br>Mischen/Trennen der Abfallströme | Gesundheitsrisiko (Pulver): Größe oder chemische Eigenschaften – Exposition durch Einatmen oder Hautkontakt während der Übertragung des Pulvers                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                             |                                                                                                                                                                                                                    | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                             |                                                                                                                                                                                                                    | Risiken durch manuelle Handhabung (MSD)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                             |                                                                                                                                                                                                                    | Es besteht jedoch ein zusätzliches Risiko durch die Absetzung von Rückständen (Dämpfen) auf den Wänden der Maschine. Solche Rückstände bestehen oftmals aus extrem feinen Partikeln, die sich unmittelbar bei Kontakt mit Luft entzünden können, wenn die Maschine geöffnet wird. Dies gilt insbesondere für Ti-Legierungen in Pulverform in PBF-Prozessen.                                                                                               |
|                             |                                                                                                                                                                                                                    | Darüber hinaus muss die Extraktion des Gases oder der Luft in der Maschine berücksichtigt werden: Vor dem Öffnen der Maschine im Arbeitsbereich können einige Restpartikel oder Rückstände bestehen, wenn die Maschine nicht durch die Ableitung gefilterter Gase oder von Luft nach außen entleert wird.                                                                                                                                                 |
|                             |                                                                                                                                                                                                                    | Wenn Abfallprodukte aus verschiedenen Materialströmen/Prozessen gemischt werden, kann eine Thermitreaktion entstehen, wenn Mischungen aus Leichtmetall wie etwa Aluminium und Titan mit oxidierten eisenbasierten Produkten entzündet werden.<br>Abfallbehandlung:<br>Das Mischen von Abfallströmen kann darüber hinaus die Behandlung durch Abfallmanagement-Unternehmen komplizierter gestalten, da Kombinationen aus Gefahrenklassen entstehen können. |

| Schritt des Gesamtprozesses | Arbeitsschritt in dem Schritt    | Erkannte Hauptrisiken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nachbearbeitung             | Endbearbeitung der Teile         | Gesundheitsrisiko (Pulver): Größe oder chemische Eigenschaften – Exposition durch Einatmen oder Hautkontakt während des Schneidens, Bohrens, Schleifens usw.                                                                                                                                                                                                                                               |
|                             |                                  | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                             |                                  | Risiken durch manuelle Handhabung (MSD)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                             |                                  | Gesundheitsrisiko – Exposition gegenüber Schneidflüssigkeiten (wenn solche Flüssigkeiten für die Kühlung von Werkzeugen verwendet werden)                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                             | Reinigung von Filtern            | Gesundheitsrisiko (Pulver): Größe oder chemische Eigenschaften – Exposition durch Einatmen oder Hautkontakt während der manuellen Handhabung von Filtern                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                             |                                  | Verpuffungsrisiko bei der Handhabung von Filtern, die Kondensatpartikel enthalten, auch wenn das Pulver des Ausgangswerkstoffs nicht brennbar ist. Einige Kondensatpartikel können luftentzündlich sein, sodass verpuffungsbeständige Kleidung und Gesichtsschutz benötigt werden, wenn diese Partikel plötzlich der Luft ausgesetzt sind.                                                                 |
|                             |                                  | Tragbare Absaugvorrichtungen für die Beseitigung brennbaren Staubs müssen ATEX- oder vergleichbare Zertifizierungen durch eine autorisierte notifizierte Stelle haben. Nass-Absaugvorrichtungen müssen mit einer Verriegelung ausgestattet sein, um den Betrieb mit unzureichenden Flüssigkeitsmengen zu verhindern, und die Ansammlung von Wasserstoff aus Metall-Wasser-Reaktionen muss verhindert sein. |
|                             | Manuelle Handhabung der Maschine | Risiken durch manuelle Handhabung (MSD)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                             |                                  | Gesundheitsrisiko (Pulver) – Exposition gegenüber Pulverrückständen oder Zersetzungsprodukten durch Einatmen oder Hautkontakt: CO, Metalloxide, Aldehyde. Sauerstoffmangel durch die Verwendung von Inertgasen                                                                                                                                                                                             |
|                             |                                  | Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf, wenn die Arbeitsatmosphäre nicht inert ist                                                                                                                                                                                                                                    |
|                             |                                  | Mechanisches Risiko in Verbindung mit beweglichen Teilen der Maschine, wenn solche Teile zugänglich sind                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                             |                                  | Risiko durch nichtionisierende Strahlung – Exposition gegenüber Laserstrahlen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| Schritt des Gesamtprozesses | Arbeitsschritt in dem Schritt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Erkannte Hauptrisiken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Instandhaltung der Maschine | <p>Jeder Betrieb der Maschine, der direkten Zugang zu den Teilen der Maschine erfordert, die dem Pulver oder Rückständen oder Zersetzungsprodukten ausgesetzt waren:</p> <p>Herkömmliche Instandhaltung</p> <p>Intensive Innenreinigung bei einer Veränderung der Pulverzusammensetzung</p> <p>Veränderung der Maschine, sofern dies Zugang zu den beschriebenen Teilen erfordert</p> <p>Wechsel des/der Filter(s)</p> <p>Manuelle Handhabung der Maschine (z. B. Umsetzung an eine andere Stelle)</p> | <p>Gesundheitsrisiko (Pulver): Größe oder chemische Eigenschaften – Exposition gegenüber Pulverrückständen oder Zersetzungsprodukten durch Einatmen oder Hautkontakt: CO, Metalloxide, Aldehyde. Sauerstoffmangel durch die Verwendung von Inertgasen</p> <p>Feuer-/Explosionsrisiko für brennbare Pulver mit geringer Mindestzündenergie (z. B. Ti, Al, Mg) tritt an mehreren Orten auf.</p> <p>Risiken durch manuelle Handhabung (MSD)</p> <p>Mechanisches Risiko in Verbindung mit beweglichen Teilen der Maschine, wenn solche Teile zugänglich sind</p> <p>Strahlungsrisiko – Exposition gegenüber Laserstrahlen</p> <p>ANMERKUNG Die Auflistung der Schritte erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.</p> |

## 6.4 Charakterisierung und Risikobewertung

### 6.4.1 Allgemeines

Die Tätigkeitsbeschreibung für Bediener, die im additiven Fertigungsbereich und möglicherweise an den aus der AM hervorgehenden Teilen arbeiten, muss die in 6.2 aufgelisteten Risiken berücksichtigen. Bei der Risikobewertung müssen alle anwendbaren Risiken berücksichtigt werden.

**WARNUNG — Die hohe Risikokategorie sollte von dem betreibenden Unternehmen durch eine sehr ausführliche Risikoanalyse bewertet werden.**

### 6.4.2 Bewertung von Risiken in Verbindung mit Kontamination, Einatmen oder Hautkontakt

Für die Risikobewertung muss der Schweregrad der Gefährdung in 3 Stufen nach Tabelle 6 klassifiziert werden.

**Tabelle 6 — Gefährdungen für den Bediener in Abhängigkeit von dem Schweregrad**

| Schweregrad | Mögliche Auswirkungen auf den Bediener                                                                                 |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hoch        | Unfall oder Berufskrankheit, der/die zu irreversiblen oder tödlichen Auswirkungen führen kann                          |
| Moderat     | Unfall oder Berufskrankheit, der/die zu reversiblen Auswirkungen führen kann, aber eine ärztliche Behandlung erfordert |
| Niedrig     | Keine Unfälle oder Berufskrankheiten oder Krankheiten, die vor Ort behandelt werden können                             |

Die Exposition gegenüber CMR-Stoffen führt immer zu einem hohen Schweregrad. Ein niedriger Schweregrad ist nur für vollständig geschlossene Prozesse anwendbar, bei denen unter normalen Arbeitsbedingungen keine Exposition gegenüber Gefahrstoffen auftritt.

Die Expositionshäufigkeit muss für die Risikobewertung in 3 Stufen klassifiziert werden: hoch, moderat und gering. Tabelle 7 enthält ein Beispiel für Expositionshäufigkeiten für einen täglich viele Male ausgeführten Fertigungsprozess.

**Tabelle 7 — Charakterisierung der Expositionshäufigkeiten**

| Häufigkeitsgrad | Häufigkeit                                               |
|-----------------|----------------------------------------------------------|
| Hoch            | Mindestens einmal pro Tag                                |
| Moderat         | Exposition mehr als einmal pro Woche, aber nicht täglich |
| Niedrig         | Exposition seltener als wöchentlich                      |

Das Risikoniveau ist das Produkt aus dem Schweregrad und der Häufigkeit der Exposition. Das Risiko muss auf der Grundlage angepasster und eingeführter Kriterien für die ermittelten Produktwerte in 3 Stufen klassifiziert werden: hoch, moderat und gering. Tabelle 8 enthält ein Beispiel für die Stufen einer Risikocharakterisierung.