

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Additive Fertigungsverfahren  
Anwendersicherheit beim Betrieb der Fertigungsanlagen  
Laser-Strahlschmelzen von Metallpulvern  
Additive manufacturing processes  
User safety on operating the manufacturing facilities  
Laser beam melting of metallic parts

VDI 3405  
Blatt 6.1 / Part 6.1

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung .....	3	Preliminary note.....	3
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Normative Verweise.....</b>	<b>4</b>	<b>2 Normative references.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Begriffe.....</b>	<b>4</b>	<b>3 Terms and definitions.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Abkürzungen.....</b>	<b>6</b>	<b>4 Abbreviations.....</b>	<b>6</b>
<b>5 Potenzielle Gefährdungen beim Laser-Strahlschmelzen.....</b>	<b>7</b>	<b>5 Potential hazards with laser beam melting.....</b>	<b>7</b>
5.1 Wareneingangskontrolle und Pulverprüfung im Rahmen der Wiederaufbereitung.....	8	5.1 Incoming goods inspection and powder testing as part of reprocessing.....	8
5.2 Lagerung von Pulvermaterialien.....	8	5.2 Storage of powder materials.....	8
5.3 Pulvervorbereitung und Wiederaufbereitung von Pulver (Sieben)...	8	5.3 Powder preparation and reprocessing of powder (sieving).....	8
5.4 Anlagenvorbereitung.....	9	5.4 Machine preparation.....	9
5.5 Bauprozess – Betrieb der Maschine.....	9	5.5 Build process – Operation of the machine.....	9
5.6 Schritte der Bauteilentnahme.....	10	5.6 Steps in part removal.....	10
5.7 Schritte der Bauteilnachbearbeitung.....	11	5.7 Steps in post-processing of parts.....	11
5.8 Abfalllagerung.....	13	5.8 Waste storage.....	13
<b>6 Potenzielle Gefährdungen bei Reinigung, Wartung, Umbau und Instandhaltung.....</b>	<b>14</b>	<b>6 Potential hazards for cleaning, maintenance, conversion, and repair.....</b>	<b>14</b>
6.1 Reinigung für Pulverwechsel.....	14	6.1 Cleaning for powder change.....	14
6.2 Wechsel der Umluftfilter.....	14	6.2 Changing the recirculated air filters.....	14
6.3 Reinigung der Räumlichkeiten.....	15	6.3 Cleaning the premises.....	15
6.4 Eingriff in die Anlage im Rahmen von Vermessung und Kalibrierung (Überbrückung).....	15	6.4 Intervention in the machine in the scope of measurement and calibration (by-pass).....	15
6.5 Umbauten und Eingriff in Anlagen (Überbrückung).....	15	6.5 Modifications and intervention in machines (by-pass).....	15
6.6 Externe Dienstleister und Besucher.....	16	6.6 External service providers and visitors....	16
<b>7 Gefährdungsbeurteilung und Rangfolge der Schutzmaßnahmen.....</b>	<b>16</b>	<b>7 Risk assessment and sequence of protective measures.....</b>	<b>16</b>
7.1 Gefährdungsbeurteilung.....	16	7.1 Risk assessment.....	16
7.2 Rangfolge der Schutzmaßnahmen.....	17	7.2 Sequence of protective measures.....	17

VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (GPL)

Fachbereich Produktionstechnik und Fertigungsverfahren

VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 2: Fertigungsverfahren

Inhalt	Seite
<b>8 Empfehlungen für die arbeitssichere Prozessgestaltung</b> .....	18
8.1 Wareneingangskontrolle und Pulverprüfung im Rahmen der Wiederaufbereitung.....	19
8.2 Lagerung von Pulvermaterialien und bauliche Anforderungen an die Pulverlagerung .....	19
8.3 Pulvervorbereitung und Wiederaufbereitung von Pulver (Sieben). 20	20
8.4 Anlagenvorbereitung.....	20
8.5 Betrieb der Maschine .....	21
8.6 Schritte der Bauteilentnahme .....	22
8.7 Schritte der Bauteilnachbearbeitung.....	24
8.8 Abfalllagerung .....	26
<b>9 Empfehlungen für die Gestaltung der Arbeiten bei Reinigung, Wartung, Umbau und Instandhaltung</b> .....	27
9.1 Reinigung für Pulverwechsel.....	27
9.2 Wechsel der Umluftfilter .....	28
9.3 Reinigung der Räumlichkeiten.....	28
9.4 Externe Dienstleister und Besucher .....	29
<b>10 Persönliche Schutzausrüstung (PSA) und Verhaltenshinweise</b> .....	29
10.1 Handschutz.....	29
10.2 Hautschutz .....	30
10.3 Atemschutz .....	30
10.4 Kleidung und Schuhe .....	31
<b>Anhang A</b> Checkliste für den arbeitssicheren Technologieeinstieg.....	32
<b>Anhang B</b> Beispielhafte Lastenrechnung zur Lüftungsdimensionierung.....	34
Schrifttum .....	36

Contents	Page
<b>8 Recommendations for occupationally safe process design</b> .....	18
8.1 Incoming goods inspection and powder testing as part of reprocessing .....	19
8.2 Storage of powder materials and construction requirements for powder storage.....	19
8.3 Powder preparation and reprocessing of powder (sieving).....	20
8.4 Machine preparation .....	20
8.5 Operation of the machine.....	21
8.6 Steps in part removal .....	22
8.7 Steps in post-processing of parts.....	24
8.8 Waste storage.....	26
<b>9 Recommendations for the design of work for cleaning, maintenance, conversion, and repair</b> .....	27
9.1 Cleaning for powder change .....	27
9.2 Changing the recirculated air filters.....	28
9.3 Cleaning the premises.....	28
9.4 External service providers and visitors ....	29
<b>10 Personal protective equipment (PPE) and instructions for conduct</b> .....	29
10.1 Hand protection .....	29
10.2 Skin protection.....	30
10.3 Breathing protection .....	30
10.4 Clothes and shoes .....	31
<b>Annex A</b> Checklist for safely getting started with technology.....	32
<b>Annex B</b> Example load calculation for ventilation dimensioning.....	34
Bibliography .....	36

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/3405](http://www.vdi.de/3405).

## Einleitung

Diese Richtlinie beschreibt ein einheitliches Vorgehen, um den sicheren Betrieb von additiven Fertigungsanlagen, die Metallpulver mit dem Laser-Strahlschmelzverfahren (siehe VDI 3405 und VDI 3405 Blatt 2) verarbeiten, zu gewährleisten. Die Relevanz und Anwendbarkeit bestehender Vorschriften benachbarter Technologiefelder wie der Schweißtechnik, der Pulvermetallurgie und der Nanopartikel wird im Einzelfall bewertet. Es werden relevante technische Regeln, Vorschriften und Gesetze aufgeführt und Empfehlungen gegeben wie diese bei den unterschiedlichen Schritten des Laser-Strahlschmelzens praktisch umgesetzt werden können.

Die Motivation für die Erstellung dieser Richtlinie bestand auch darin, dass es in der Vergangenheit zu gefährlichen Zwischenfällen kam, die beispielsweise zu Bränden und Verpuffungen geführt haben. Anwendern soll mit diesem Dokument ein Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden, das Antworten oder Hinweise auf möglichst alle Fragen gibt, die im Zuge der Erarbeitung oder Aufrechterhaltung eines sicheren Betriebs von Laser-Strahlschmelzanlagen aufkommen.

## 1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie wendet sich vorrangig an Betreiber von Laser-Strahlschmelzanlagen bzw. an Personen oder Unternehmen, die die Beschaffung und den Betrieb einer Laser-Strahlschmelzanlage planen. Die Richtlinie wendet sich auch an Organisationen, die Betreiber dieser Anlagen bezüglich der Sicherheitsvorkehrungen beraten, an Lieferanten von Anlagen und von Ausrüstung zum sicheren Betrieb

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/3405](http://www.vdi.de/3405).

## Introduction

This standard describes a uniform procedure to guarantee the safe operation of additive manufacturing machines, which process metal powder by means of laser beam melting (see VDI 3405 and VDI 3405 Part 2). The relevance and applicability of existing regulations for adjacent fields of technology, such as welding engineering, powder metallurgy, and nanoparticles, are evaluated on a case-by-case basis. Relevant technical rules, regulations, and laws are compiled and recommendations are given on how they can be practically implemented in the different stages of the laser beam melting process.

The creation of this standard was also motivated by the fact that in the past there have been dangerous incidents that have led, for example, to fires and deflagrations. This document is intended to provide users with an aid, which gives answers or tips to as many questions as possible that arise when preparing for or maintaining safe operation of laser beam melting machines.

## 1 Scope

The standard is primarily directed towards companies operating laser beam melting machines and/or people or companies planning the acquisition and operation of a laser beam melting machine. The standard is also directed towards organisations, which advise companies operating these machines regarding safety precautions, towards suppliers of machines and equipment for safe operation, and

sowie an Logistikdienstleister für die Handhabung von Gefahrgut.

Die Richtlinie gilt für Laser-Strahlschmelzanlagen mit CE-Kennzeichen, die für den sicheren Betrieb gekapselt sind (siehe Definition in Abschnitt 3: gekapselte Anlage).

Betreiber (= Arbeitgeber) von Laser-Strahlschmelzanlagen sind verpflichtet, vor Aufnahme der Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen (§ 3, § 5 ArbSchG, § 6 GefStoffV, § 3 OStrV) und zu dokumentieren. Hierbei soll das vorliegende Dokument praxistauglich und verständlich unterstützen.

Die Richtlinie wurde spezifisch für das Laser-Strahlschmelzen erstellt. Teile dieser Richtlinie können dennoch auch für verwandte additive Fertigungsverfahren wie das Elektronen-Strahlschmelzen relevant sein.

## 2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

- VDI 3405 Blatt 1:2014-12 Additive Fertigungsverfahren; Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen
- VDI 3405 Blatt 2:2013-08 Additive Fertigungsverfahren, Strahlschmelzen metallischer Bauteile, Qualifizierung, Qualitätssicherung und Nachbearbeitung

towards logistics providers for handling hazardous goods.

The standard applies to laser beam melting machines with CE label, which are encapsulated for safe operation (see definition in Section 3: encapsulated machine).

Companies operating of laser beam melting machines are obliged to perform and document a risk assessment before beginning their activities (§ 3, § 5 ArbSchG – German Occupational Health and Safety Act, § 6 GefStoffV – German Ordinance on Hazardous Substances, § 3 OStrV – German Occupational Safety and Health Ordinance on Artificial Optical Radiation). This document is intended to support operating companies with this in a clear and practical way.

The standard was specifically created for laser beam melting. Parts of this standard may however also be relevant to related additive manufacturing processes such as electron beam melting.

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

- VDI 3405 Part 1:2014-12 Additive manufacturing processes, rapid manufacturing; Basics, definitions, processes
- VDI 3405 Part 2:2013-08 Additive manufacturing processes, rapid manufacturing; Beam melting of metallic parts; Qualification, quality assurance and post-processing