

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Additive Fertigungsverfahren
Anwendersicherheit beim Betrieb der Fertigungsanlagen
Harzbasierte Fertigungsverfahren
Additive manufacturing processes
User safety on operating the manufacturing facilities
Resin-based manufacturing processes

VDI 3405
Blatt 6.3 / Part 6.3

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
Vorbemerkung	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweise	5
3 Begriffe	5
4 Abkürzungen	7
5 Potenzielle Gefährdungen bei harzbasierten additiven Fertigungsverfahren	7
5.1 Wareneingangskontrolle und Materialprüfung im Rahmen der Wiederaufbereitung	9
5.2 Lagerung von Harzmaterialien	9
5.3 Umgang mit fotoreaktiven Harzmaterialien	9
5.4 Harzvorbereitung	9
5.5 Anlagenvorbereitung	11
5.6 Bauprozess – Betrieb der Maschine	11
5.7 Schritte der Bauteilentnahme	11
5.8 Reinigung der Prozesskammer	12
5.9 Schritte der Bauteilnachbearbeitung	12
5.10 Abfalllagerung	14
6 Potenzielle Gefährdungen bei Reinigung, Wartung, Umbau und Instandhaltung	14
6.1 Reinigung für Materialwechsel	14
6.2 Reinigung der Räumlichkeiten und Arbeitsflächen	15
6.3 Eingriff in die Anlage im Rahmen von Vermessung und Kalibrierung	15
6.4 Umbauten und Eingriff in Anlagen	16
7 Gefährdungsbeurteilung und Rangfolge der Schutzmaßnahmen	16
7.1 Gefährdungsbeurteilung	16
7.2 Rangfolge der Schutzmaßnahmen	17

Contents	Page
Preliminary note	3
Introduction	3
1 Scope	4
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Abbreviations	7
5 Potential hazards of resin-based additive manufacturing processes	7
5.1 Incoming goods inspection and material testing as part of reprocessing	9
5.2 Storage of resin materials	9
5.3 Handling photoreactive resin materials	9
5.4 Resin preparation	9
5.5 Machine preparation	11
5.6 Build process – Operation of the machine	11
5.7 Part removal process	11
5.8 Cleaning the process chamber	12
5.9 Part post-processing	12
5.10 Waste storage	14
6 Potential hazards associated with cleaning, maintenance, refitting, and repair	14
6.1 Cleaning prior to material change	14
6.2 Cleaning the premises and work surfaces	15
6.3 Intervention in the machine for measurement and calibration purposes	15
6.4 Modifications and intervention in machines	16
7 Risk assessment and hierarchy of protective measures	16
7.1 Risk assessment	16
7.2 Hierarchy of protective measures	17

VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (GPL)

Fachbereich Produktionstechnik und Fertigungsverfahren

VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 2: Fertigungsverfahren

Inhalt	Seite
8 Empfehlungen für die arbeitssichere Prozessgestaltung	19
8.1 Wareneingangskontrolle und Materialprüfung im Rahmen der Wiederaufbereitung.....	19
8.2 Lagerung von harzbasierten Ausgangsmaterialien und bauliche Anforderungen	19
8.3 Umgang mit Harzmaterialien.....	19
8.4 Harzvorbereitung	20
8.5 Anlagenvorbereitung.....	20
8.6 Bauprozess – Betrieb der Maschine.....	21
8.7 Schritte der Bauteilentnahme	21
8.8 Reinigung der Prozesskammer.....	22
8.9 Schritte der Bauteilnachbearbeitung.....	22
8.10 Abfalllagerung	24
9 Empfehlungen für die Gestaltung der Arbeiten bei Reinigung, Wartung, Umbau und Instandhaltung	25
9.1 Reinigung für Materialwechsel	25
9.2 Reinigung der Räumlichkeiten.....	25
9.3 Externe Dienstleister und Besucher.....	26
10 Persönliche Schutzausrüstung (PSA) und Verhaltenshinweise	26
10.1 Handschutz.....	27
10.2 Atemschutz	27
10.3 Kleidung und Schuhe.....	28
Anhang Checkliste für den arbeitssicheren Technologieeinstieg	29
Schrifttum	31

Contents	Page
8 Recommendations for an occupationally safe process design	19
8.1 Incoming goods inspection and material testing as part of reprocessing	19
8.2 Storage of resin-based starting materials and constructional requirements	19
8.3 Handling resin materials	19
8.4 Resin preparation	20
8.5 Machine preparation	20
8.6 Build process – Operation of the machine.....	21
8.7 Part removal process.....	21
8.8 Cleaning the process chamber	22
8.9 Part post-processing.....	22
8.10 Waste storage.....	24
9 Recommendations for the organisation of cleaning, maintenance, refitting, and repair work	25
9.1 Cleaning prior to material change.....	25
9.2 Cleaning the premises.....	25
9.3 External service providers and visitors	26
10 Personal protective equipment (PPE) and codes of conduct	26
10.1 Hand protection	27
10.2 Respiratory equipment.....	27
10.3 Clothing and shoes.....	28
Annex Checklist for safe working with new technology	29
Bibliography	31

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), 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 und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3405.

Einleitung

Diese Richtlinie beschreibt ein einheitliches Vorgehen, um den sicheren Betrieb von additiven Fertigungsanlagen, die harzbasierte Ausgangsmaterialien verarbeiten (siehe VDI 3405), zu gewährleisten. Die Relevanz und Anwendbarkeit bestehender Vorschriften benachbarter Technologiefelder wird im Einzelfall bewertet. Es werden relevante technische Regeln, Vorschriften und Gesetze aufgeführt und Empfehlungen gegeben, wie diese bei den unterschiedlichen Schritten der Bauteilproduktion mit harzbasierten Verfahren praktisch umgesetzt werden können.

Die Motivation für die Erstellung dieser Richtlinie bestand darin, Aspekte der Anwendersicherheit über die gesamte Prozesskette von harzbasierten additiven Fertigungsverfahren aufzuzeigen. Anwendern und Anwenderinnen 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 harzbasierten additiven Fertigungsanlagen aufkommen.

In dieser Richtlinie werden die folgenden harzbasierten additiven Fertigungsverfahren berücksichtigt:

- Verfahren nach dem Prinzip des Werkstoffauftrags: Diese Verfahren basieren auf einem selektiven Materialauftrag mit Inkjet-Technologie und sind auf dem Markt beispielsweise auch unter den Bezeichnungen Polyjet[®]-Modelling und Multijet Printing bekannt.
- Verfahren nach dem Prinzip der badbasierten Fotopolymerisation: Diese Verfahren beruhen

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) 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 and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at www.vdi.de/3405.

Introduction

This standard describes a consistent procedure to ensure the safe operation of additive manufacturing machines which process resin based starting materials (see VDI 3405). The relevance and applicability of existing provisions for related fields of technology are evaluated on a case-by-case basis. Relevant technical rules, regulations, and laws are cited, and recommendations are given regarding practical implementation in different stages of part production with resin-based processes.

The motivation for developing this standard was the need to highlight aspects of user safety throughout the entire process chain of resin based additive manufacturing. This document is intended to provide users with a guide that addresses every possible question that arises when planning and ensuring the safe operation of resin-based AM machines.

The following resin-based additive manufacturing processes are considered in this standard:

- Processes based on the principle of material jetting: These processes are based on selective material application with inkjet technology and are marketed e.g., as Polyjet[®] Modelling or Multijet Printing.
- Processes based on the principle of vat photopolymerisation: These processes are based on

auf der selektiven Aushärtung von flüssigem Fotopolymer mit sichtbarem Licht oder ultravioletter Strahlung. Es gibt eine große Variantenvielfalt: Für die Belichtung kommen insbesondere UV-Laser (Stereolithografie), DLP[®]-Projektionstechnik oder LC-Displays zum Einsatz. Der Belichtungsschritt findet in der Regel Schicht für Schicht statt. Das unter dem Markennamen DLS[®] (Digital Light Synthesis) bekannte Verfahren verwendet eine kontinuierliche Belichtung. Weiterhin gibt es Unterschiede in Bezug auf die Baurichtung: Es gibt sowohl Verfahren, die das Bauteil in einem Harzbehälter aufbauen (Belichtung von oben, stehend), als auch solche, bei denen das Bauteil hängend aus einer flachen Materialschale herausgezogen wird. Die Belichtung erfolgt in diesem Fall von unten. Die Bandbreite an für diese Prozesse geeigneten Harzmaterialien erlaubt die Realisierung variabler Bauteileigenschaften (hart, weich, transparent ...), einige Materialien werden vor dem additiven Fertigungsprozess mit einer zweiten Komponente gemischt (diese Richtlinie verwendet hierfür den Begriff „Zweikomponenten-Harze“).

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie wendet sich vorrangig an Betreiber von harzbasierten additiven Fertigungsanlagen und an Personen oder Unternehmen, die die Beschaffung und den Betrieb einer solchen Anlage planen. Die Richtlinie wendet sich auch an

- Organisationen, die Betreiber dieser Anlagen bezüglich der Sicherheitsvorkehrungen beraten,
- Lieferanten von Anlagen und von Ausrüstung zum sicheren Betrieb sowie
- Logistikdienstleister für die Handhabung von Gefahrgut.

Diese Richtlinie gilt für harzbasierte additive Fertigungsanlagen mit CE-Kennzeichen, die für den sicheren Betrieb über eine Umhausung verfügen, so dass keine gefährliche Strahlung nach außen gelangen kann.

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

selective curing of liquid photopolymer using visible light or ultraviolet radiation. There is a wide range of variants: In particular, UV lasers (stereolithography), DLP[®] projection technology, or LC displays are used for the exposure. The exposure step usually takes place layer by layer. The process known under the brand name DLS[®] (Digital Light Synthesis) uses continuous exposure. Furthermore, there are differences with regard to the build direction: There are processes that build up the component in a resin container (exposure from above, standing), as well as those in which the component is pulled out of a flat material vat in a hanging position. In this case, the exposure takes place from below. The range of resin materials suitable for these processes allows for the realisation of variable component properties (hard, soft, transparent, ...), some materials are mixed with a second component prior to additive manufacturing (these are referred to as two-component resins in this standard).

1 Scope

This standard is primarily directed towards operating companies with resin-based AM machines and people or companies planning to acquire or operate such. The standard is also aimed at

- organisations which provide safety advice to operating companies of these machines,
- suppliers of machines and equipment required for safe operation, and
- logistics providers involved in the handling of hazardous goods.

This standard applies to resin-based AM machines with a CE label that are fully enclosed to avoid exposure to hazardous radiation for safe operation.

As employers, operating companies of resin-based AM machines are obliged to perform and document a risk assessment before going operational (§ 3 and § 5 ArbSchG – German Occupational Health and Safety Act, § 6 GefStoffV – German Hazardous Substances Ordinance, § 3 OStrV – German Occupational Safety and Health Ordinance on Artificial Optical Radiation). This standard is intended to provide clear and practical guidance to assist operating companies with this task.