

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Additive Fertigungsverfahren, Rapid Manufacturing  
Laser-Sintern von Kunststoffbauteilen  
Güteüberwachung  
Additive manufacturing processes, rapid manufacturing  
Laser sintering of polymer parts  
Quality control

VDI 3405

Blatt 1 / Part 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.....	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
<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>5</b>	<b>3 Terms and definitions.....</b>	<b>5</b>
<b>4 Formelzeichen und Abkürzungen.....</b>	<b>6</b>	<b>4 Symbols and abbreviations.....</b>	<b>6</b>
<b>5 Prüfung des Ausgangswerkstoffs.....</b>	<b>6</b>	<b>5 Testing of the raw powder material.....</b>	<b>6</b>
5.1 Wareneingangskontrolle.....	7	5.1 Incoming goods inspection.....	7
5.2 Werkstoffüberwachung (Refresh).....	8	5.2 Inspecting materials (refresh).....	8
<b>6 Prozessüberwachung.....</b>	<b>9</b>	<b>6 Process control.....</b>	<b>9</b>
6.1 Überwachungsintervall und Anlagenzertifizierung.....	11	6.1 Monitoring interval and system certification.....	11
6.2 Überwachung pro Bauprozess.....	12	6.2 Monitoring per build process.....	12
6.3 Kontinuierliche Überwachung für jede Schicht.....	12	6.3 Continuous monitoring of each layer.....	12
<b>7 Prüfen der Bauteilqualität (standardisierte   Testverfahren).....</b>	<b>14</b>	<b>7 Testing part quality (standardised   test methods).....</b>	<b>14</b>
7.1 Prüfbauprozess und Anlagenqualifizierung.....	15	7.1 Test build and system certification.....	15
7.2 Zerstörende Prüfung (Mechanische Eigenschaften).....	16	7.2 Destructive testing (mechanical properties).....	16
7.3 Zerstörungsfreie Prüfung.....	16	7.3 Non-destructive testing.....	16
<b>8 Qualitätsstandards.....</b>	<b>16</b>	<b>8 Quality standards.....</b>	<b>16</b>
8.1 Empfehlungen.....	19	8.1 Recommendations.....	19
8.2 Prüfstrategien.....	20	8.2 Testing strategies.....	20
<b>9 Folgeprozesse.....</b>	<b>23</b>	<b>9 Downstream processes.....</b>	<b>23</b>
<b>10 Sicherheit und Umwelt.....</b>	<b>23</b>	<b>10 Safety and the environment.....</b>	<b>23</b>
10.1 Allgemeine Gefährdungen.....	25	10.1 General risks.....	27
10.2 Gefährdungen in einzelnen Anlagenbereichen.....	26	10.2 Risks in individual areas of the machine.....	28
10.3 Gefährdungen bei Nacharbeitsprozessen.....	26	10.3 Risks from post-processing treatments.....	28
10.4 Umwelt.....	28	10.4 Environment.....	28
<b>Anhang.....</b>	<b>29</b>	<b>Annex.....</b>	<b>30</b>
A1 Ablauf MVR-Messung für PA12.....	29	A1 MVR measurement cycle for PA12.....	30
A2 Ringversuch Anlagenqualifizierung.....	29	A2 Round robin test for system qualification.....	30
A3 Ringversuch DDK(DSC)-Prüfung.....	33	A3 Round robin DDC (DSC) test.....	33
A4 Ringversuch Hausnerzahl.....	33	A4 Round robin test Hausner ratio.....	33
Schrifttum.....	36	Bibliography.....	36

## Vorbemerkung

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

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-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 wendet sich an Werkstoffhersteller, Anwender und Produzenten von polymerbasierten additiven Fertigungsverfahren und daraus hergestellten Produkten. Sie wurde aufbauend auf der Richtlinie VDI 3404 erarbeitet, welche die Beschreibung verschiedener additiver Fertigungsverfahren aus unterschiedlichen Werkstoffen zum Inhalt hat. Im Fokus der vorliegenden Richtlinie stehen Rapid-Manufacturing-Verfahren (RM-Verfahren) ab einer Losgröße  $N = 1$ . Im Gegensatz zu Prototypen weisen diese Bauteile einen hohen Seriencharakter auf. Das Rapid Prototyping wird in dieser Richtlinie nicht behandelt.

Die additive Fertigung von metallischen Bauteilen ist in der Richtlinie VDI 3405 Blatt 2 wiedergegeben.

In der vorliegenden Richtlinie sind wesentliche Gesichtspunkte zusammengestellt, die bei der additiven Fertigung von lasergesinterten Bauteilen von Bedeutung sein können. Dazu gehört die Prüfung des Ausgangswerkstoffs, die Inline-Prozessüberwachung und die Prüfung der generierten Bauteileigenschaften anhand von Probekörpern. Die Richtlinie beinhaltet ebenfalls Hinweise zu Qualitätsstandards und Folgeprozessen. Dabei erfasst sie auch sicherheitstechnische und umweltrelevante Aspekte.

Die Richtlinie setzt bei der Anwendung Grundkenntnisse über den Prozessablauf der verschiedenen Verfahren voraus. Auf Details der in der Praxis eingesetzten Verfahren wird nur insoweit eingegangen, wie dies für das Verständnis der Aussagen erforderlich ist.

## Preliminary note

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

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 is addressed to manufacturers of material, users and producers of polymer-based additive manufacturing processes and products derived from them. It is designed on the basis of the standard VDI 3404, which describes different additive manufacturing processes using different kinds of materials. This standard focuses on rapid manufacturing (RM) processes from a batch size of  $N = 1$ . In contrast to prototypes, these products have a strong character as serial parts. Rapid prototyping is not the issue of this standard.

Additive manufacturing of metal parts is dealt with in standard VDI 3405 Part 2.

This standard brings together the principal considerations which may be relevant to the additive manufacturing of laser-sintered parts. These include testing of raw powder material, in-line process control and testing of part properties on the basis of test specimens. This standard also contains information about quality standards and downstream processes, including safety and environmental aspects.

This standard assumes that the reader has a basic understanding of the process flows which the various manufacturing processes entail. Details of the practically used processes are only described as far as necessary to understand the statements.

Die Forderung an das RM ist die Fertigung von Bauteilen mit gleich bleibenden Bauteileigenschaften und gleich bleibender Qualität bei jedem Bauprozess. Die Reproduzierbarkeit additiv gefertigter Produkte steht daher im Vordergrund dieser Richtlinie. Zur Realisierung reproduzierbarer Teile müssen Anlagen und deren Parameter derart spezifiziert werden, dass eine Anlagenqualifizierung möglich ist.

Der Hersteller stellt die nötigen Angaben in einem Datenblatt bereit. Diese beziehen sich auf den Anlagentyp und den verwendeten Werkstoff. Für die mindestens zu garantierenden Bauteileigenschaften wird die Festigkeit bei der dabei erreichbaren minimalen Wanddicke und Spaltbreite herangezogen.

## 1 Anwendungsbereich

Die additiven Fertigungsverfahren sind fester Bestandteil des Produktentstehungsprozesses und der Serienfertigung von Bauteilen.

Der Laser-Sinter-Prozess wird vielfältig beeinflusst. Hierunter fallen vor allem die Eigenschaften des eingesetzten Pulvers und die gewählten Prozessparameter, die die erzielbaren Bauteileigenschaften maßgeblich bestimmen. Die Parameter können teilweise frei definiert werden. Die Angaben von mechanischen, physikalischen, chemischen oder elektrischen Eigenschaften in den Werkstoff-Datenblättern sind als Richtwerte für die jeweiligen Werkstoffe unter Verwendung von Standardparametern anzusehen. Exaktere Kennwerte können jeweils nur beim jeweiligen internen oder externen Bauteillieferanten nachgefragt werden. Aus diesen Gründen kann nur eine eingeschränkte Reproduzierbarkeit der Bauteileigenschaften zwischen verschiedenen Bauteillieferanten sowie unterschiedlichen Fertigungsanlagen gewährleistet werden.

Ziel dieser Richtlinie ist es, Rohstofflieferanten, Anlagenherstellern, Anwendern (Auftraggeber) und Teilelieferanten (externen und internen) praxiserprobte Hinweise und Empfehlungen zu geben und einheitliche Referenzwerte und Qualitätsüberwachungssysteme für das Laser-Sintern vorzugeben.

Somit können die komplexen Wechselwirkungen zwischen Werkstoff, eingestellten Prozessparametern und den sich daraus ergebenden Prozessbedingungen bei der Entstehung der Bauteileigenschaften verstanden werden. Diese Richtlinie gibt Empfehlungen zur Prüfung des Ausgangswerkstoffs, zur Prozessüberwachung und zum Prüfen der Bauteilqualität.

The challenge for rapid manufacturing is to deliver parts with constant properties and part quality in each building process. This standard will therefore focus on the reproducibility of additively manufactured products. To achieve reproducibility in the production of parts, the system requirements and their parameters must be specified so as to enable facilities to be qualified.

The manufacturer provides the necessary information in the form of a data sheet. These are specific to the type of machine and the material being used. For the minimum guaranteed part properties the strength will be specified at the minimal wall thickness and gap width.

## 1 Scope

Additive manufacturing processes are an inherent part of the product development process and the production of serial parts.

The laser sintering process is subject to influences by a number of different factors. In particular the properties of the powder used and the chosen process parameters determine the part properties significantly. The parameters can to some extent be freely defined. Information in the material data sheets about mechanical, physical, chemical and electrical characteristics serves as standard value for the respective materials when standard parameters are used. More precise characteristic values are only available from the internal or external component supplier. For these reasons, only limited reproducibility of part properties can be ensured between different component suppliers and different manufacturing machines.

The aim of this standard is to offer raw material suppliers, system manufacturers, users (customers) and parts suppliers (external and internal) field-tested guidance and recommendations, as well as to provide standardised reference values and quality control systems for laser sintering.

This will enable complex interactions between material, process parameters and ensuing process conditions to be understood during formation of part properties. This standard provides recommendations for testing the raw powder material, for process control, and for testing the resulting part quality.