

Rapid Manufacturing – Neue Herausforderungen für generative Fertigungsverfahren

Dipl.-Ing. Jens Hoffmann

Einleitung

In den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts begann die stürmische Entwicklung neuer Fertigungsverfahren, die heute unter dem Begriff der „generativen Fertigungsverfahren“ zum industriellen Alltag gehören. Zu Beginn besonders im Bereich der Produktentwicklung eingesetzt („Rapid Prototyping“) wurden die Anwendungsgebiete für mit Hilfe dieser Technologien gefertigter Werkstück immer weiter ausgedehnt. Seit der Jahrtausendwende erlangen Anwendungen, die mit den Begriffen „Rapid Tooling“ und „Rapid Manufacturing“ in Verbindung stehen, eine immer größere Bedeutung.

Dieser Beitrag soll einen Überblick zum aktuellen Entwicklungsstand auf diesen Gebieten geben. Er ist eine Zusammenfassung von Ergebnissen verschiedener studentischer Arbeiten /ESS-09, ZHO-10/.

1 Generative Fertigungsverfahren und ihre Einsatzgebiete

ICS 25.020	VDI-RICHTLINIEN	Dezember 2009 December 2009
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Generative Fertigungsverfahren Rapid-Technologien (Rapid Prototyping) Grundlagen, Begriffe, Qualitätskenngrößen, Liefervereinbarungen Additive fabrication Rapid technologies (rapid prototyping) Fundamentals, terms and definitions, quality parameters, supply agreements	VDI 3404 Ausg. deutsch/englisch Issue German/English

Abb. 1: VDI-Richtlinie 3404 Rapid-Technologien

Der aktuelle Stand der Entwicklung der generativen Fertigungsverfahren spiegelt sich in der VDI 3404 Rapid-Technologien (Rapid Prototyping, Abb. 1) wieder /VDI 3404/. Diese beinhaltet u. a. folgende Schwerpunkte:

- Anwendungsbereich
- Begriffe
- Bauteilarten und Verwendungszweck
- Verfahrensgrundlagen
 - o Prozessketten
 - o Verfahrensbeschreibungen
 - o Nachbehandlung
- Datenaustausch
 - o Datenfluss
 - o Datenformate
 - o Datenvorbereitung

- Anforderungen und Auswahlkriterien
 - o Anforderungskriterien und Qualitätsmerkmale
 - o Auswahlkriterien
- Bauteil und Prozessprüfung
 - o Anforderungen und Qualitätskriterien
 - o Prüfung des Bauteils
- Anforderungsliste und Liefervereinbarungen

Generative Fertigungsverfahren werden als erzeugend, urformend bzw. aufbauende Verfahren, z. B. element- oder schichtweise, additiv charakterisiert.

	Konzepte		Prototypen			Produkte	
Produkt Serienteil	[Redacted]						
Technischer Prototyp	[Redacted]						
Funktions-Prototyp	[Redacted]						
Geometrie-Prototyp	[Redacted]						
Konzept-Modell	[Redacted]						
	Konzept	Design	Konstruktion Teile	Konstruktion Werkzeuge	Vorbereitung Produktion	Vorserie	Produktion

Abb. 2: Einsatz von generativ gefertigten Bauteilen in der Produktentwicklung /VDI 3404/

Als Haupteinsatzgebiete werden definiert (Abb. 2):

- Rapid Manufacturing
 - o Generative Herstellung von Endprodukten (häufig auch als Serienteile bezeichnet).
 - o Eigenschaften: Weist alle Merkmale des Endprodukts auf oder wird vom Kunden für den „Serieneinsatz“ akzeptiert.
 - o Material ist identisch mit dem des Endprodukts.
 - o Konstruktion entspricht der des Endprodukts.
- Rapid Prototyping (RP)
 - o Generative Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität (Prototypen, Versuchsteile).
 - o Eigenschaften: ausgewählte Merkmale, z. B. Geometrie, Haptik.
 - o Material kann, muss aber nicht Serienmaterial sein.
 - o Konstruktion kann, muss aber nicht fertigungsgerecht im Sinne der Serienfertigung sein.
- Rapid-Technologien (Rapid-Verfahren)
 - o Zusammenfassung aller Prozessketten, die Bauteile unter Verwendung generativer Verfahren herstellen.
- Rapid Tooling
 - o Anwendung der generativen Methoden und Verfahren auf den Bau von Werkzeugen und Formen.

Wichtig für den effektiven Einsatz der generativen Fertigungsverfahren ist die Umsetzung von entsprechenden Prozessketten. Nur dann ist eine effektive Nutzung der potenziellen Möglichkeiten der Rapid Technologien gegeben. Auch darauf wird in der VDI-Norm explizit eingegangen.

2 Rapid Manufacturing

Dieses Anwendungsfeld für generativ gefertigte Werkstücke umfasst den Einsatz dieser Teile im jeweiligen Endprodukt. Damit ist eine Stückzahl bis zu eines in der Fertigung ökonomisch realisierbar. Aktuell werden auch konventionelle Technologien (z.B. HSC- und CNC-Bearbeitung) in Prozessketten des Rapid Manufacturing einbezogen. Dies erlaubt eine Optimierung der Anwendungen speziell unter dem Aspekt des Zeit- und Kostenaufwandes der Realisierung.

Die Hauptvorteile des Rapid Manufacturing gegenüber der konventionellen Fertigung sind /nach ESS-09/:

- hoher Grad konstruktiver Freiheit (Flexibilität der Teilegestalt)
- nahezu unbegrenzte Komplexität der Teilegeometrie
- Fertigung von Baugruppen als Einheit
- Herstellung von speziellen Funktionsbauteilen
- ökonomische Produktion von kleinen Stückzahlen
- gezielte Werkstoffauswahl

Problematisch für dieses Anwendungsgebiet sind u. a. folgende Faktoren:

- relativ umfangreiche Fertigungszeit erforderlich
- begrenztes verfügbares Materialspektrum für generative Fertigungsverfahren
- Materialeigenschaften entsprechen häufig nicht vollständig den bekannten Serienwerkstoffen
- hoher Investitionsaufwand für generative Fertigungssysteme erforderlich





Die aktuellen Entwicklungsarbeiten der verschiedenen Systemanbieter beziehen sich in großem Umfang auf die Reduzierung dieser Probleme. Damit ist für die Zukunft mit weiter verbesserten Möglichkeiten für den Einsatz des Rapid Manufacturing zu rechnen.

Aktuelle generative Technologien für das Rapid Manufacturing sind u.a.:

- Herstellung von Kunststoffteilen
 - o Selectives Lasersintern („Direct Part“, EOS GmbH Planegg/München; 3D Systems Corp., USA)
 - o Fused Deposition Modelling (FDM, „Teilefabrik“, alphacam GmbH, Schorndorf)
- Herstellung von Metallteilen
 - o Selectives Lasersintern („Direct Part“, EOS GmbH Planegg/München; 3D Systems Corp., USA)
 - o Selektives Laserschmelzen („E-Manufacturing“, F & S Stereolitho- graphietechnik GmbH / ReaLizer GmbH, Borchten)

In der folgenden Tabelle 1 sind einige Beispiele für aktuelle Materialkennwerte für Werkstoffe der Firma Stratasys für das FDM-Verfahren zusammengestellt.

Tabelle 1: Anwendungsbeispiele und Materialkennwerte für den Einsatz von FDM-Teilen im Rahmen des Rapid Manufacturing
(Quelle: www.stratasys.com)

Material	Polycarbonat (PC)	Polycarbonat / ABS-Blend	ABSi Methyl-Methacrylat-Acrylnitril-Butadien-Styrol	ABS Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat
Zugfestigkeit [N/mm ²]	52	35	37	22
Zug-Elastizitätsmodul [N/mm ²]	2000	1827	1918	1627
Biegefestigkeit [N/mm ²]	97	50	61	41
Biege-Elastizitätsmodul [N/mm ²]	2137	1963	1820	1834
IZOD-Kerbschlagfestigkeit [J/m]	53	123	101	107
Formbeständigkeit bei Wärme [°C]	138	110	87	90
Dichte [g/cm ³]	1,2	1,2	1,08	1,05
Anwendungsbeispiele				

3 Technologische Barrieren und Grenzen der aktuellen generativen Fertigungssysteme

Der aktuelle Entwicklungsstand (und damit die Einsatzmöglichkeiten) der generativen Fertigungssysteme ist gekennzeichnet durch einige wesentliche technische Restriktionen. Nach /BLR-09/ zählen u.a. dazu:

- die Fertigungszeit je Teil ist wesentlich höher als mit alternativen konventionellen Verfahren (z. B. Spritzguss)
- bei einer Vielzahl von Maschinen besteht ein Zusammenhang zwischen Teilegröße, Herstellungsgeschwindigkeit und Genauigkeit: meist sinkt bei steigender Bauteilgröße bzw. sinkender Bauzeit die Fertigungsgenauigkeit
- mangelhafte Wiederholgenauigkeit der Teilefertigung: identische Teile weichen bei wiederholten identischen Bauprozessen bezüglich Genauigkeit und Teileeigenschaften voneinander ab
- die aktuellen Anlagen haben oft eine geringe technische Zuverlässigkeit
- viele Anlagen verfügen über einen in sich geschlossenen Aufbau bzgl. Der Hard- und Software, eigene Untersuchungen zur Prozessoptimierung werden dadurch unmöglich

- einige Systeme sind in der technisch in der Lage, Mehrkomponentenmaterialien zu verwenden, die aktuelle Software der Systeme verhindert jedoch dessen einfach und effektive Nutzung

In Verbindung mit diesen Problemen stehen einige Schwerpunkte, die aktuell ihrer wissenschaftlichen Aufarbeitung harren. Dies sind u.a. nach /BLR-09/:

- Untersuchungen zu den Grundlagen der Funktionsweise der generativen Fertigungsverfahren, speziell zu den Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Energiequellen und den Werkstoffen mit dem Ziel der Optimierung der genutzten Prozessparameter; dazu zählt auch das Verständnis der thermischen und chemischen Eigenschaften und Prozesse bei der Herstellung der festen Körper zu laufenden Anpassung dieser Parameter an den aktuellen Fertigungsprozess
- Schaffung von Algorithmen zur Steuerung des Fertigungsprozesses basierend auf den Grundkenntnissen zu den Verfahren
- es sind automatisierte Steuerungssysteme zu entwickeln, die in der Lage sind, in Echtzeit kritische Bauparameter zu überwachen und zu modifizieren; diese sollen in der Lage sein, in Echtzeit eine zerstörungsfreie Prozessanalyse, Qualitätssicherung und Prozessreproduzierbarkeit zu gewährleisten
- es sind Systeme zu entwickeln, die in der Lage sind, die Multi-Materialien zu verarbeiten; dazu sind vorhandene Technologien weiter und neue Verfahren zu entwickeln
- es sind Hybrid-Systeme notwendig, die verschiedene Technologien (z. B. generative und nicht generative Verfahren) kombinieren
- es sind Systeme mit höherem Materialdurchsatz zur Beschleunigung der Herstellung großvolumiger Teile zu entwickeln
- es sind CAD-Werkzeuge für die gezielte Konstruktion von Teilen für generative Technologien zu entwickeln, die die Besonderheiten der schichtweisen Fertigung berücksichtigen
- in die Designwerkzeuge ist Expertenwissen zu integrieren um auch Nicht-Experten eine effektive Nutzung der Verfahren zu ermöglichen
- die Entwicklung von preisgünstigen Systemen speziell für den Einsatz im Bildungs- und Privatsektor ist voranzutreiben
- speziell für die Steuerung der generativen Fertigungssysteme ist eine offene Softwarestruktur zu schaffen um den Nutzer umfangreicher Möglichkeiten für die Prozessoptimierung einzuräumen
- es sind Bildungsangebote für Anwender und Bediener generativer Fertigungssysteme zu schaffen um eine größere Breitenwirkung zu sichern
- im Rahmen der konstruktiven Ausbildung ist auf die speziellen Eigenschaften generativer Fertigungsverfahren einzugehen
- Anwender und Bediener sind auf die aktuelle Generation der Hard- und Software auszubilden
- neue Materialien mit der Ziel der Annäherung ihrer Eigenschaften an die heutiger, konventionell verarbeiteter Werkstoffe sind zu entwickeln
- die bekannten generativen Fertigungsverfahren sind auf den Bereich der Mikro- und Nanotechnologien auszudehnen, eine Entwicklung spezieller neuer Verfahrensprinzipien ist dabei möglich

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz generativer Fertigungsverfahren im Rahmen des Rapid Manufacturing ist möglich. In der Industrie werden bereits erste Anwendungen genutzt. Für eine weitere Verbreitung bestehen noch verschiedene Hemmnisse. Diese sind insbesondere bedingt durch:

- hohe Fertigungskosten bei der Nutzung generativer Fertigungstechnologien im Ergebnis hoher Investitionskosten für die Anlagentechnik sowie hoher Materialpreise
- lange Fertigungszeiten im Vergleich zu konventionellen Verfahren
- begrenztes Werkstoffspektrum und damit Begrenzung der Eigenschaften der generativ gefertigten Werkstücke

Diese Ansätze werden entsprechend in /BLR-09/ aufgegriffen und bilden die Schwerpunkte bei laufenden und zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Zusätzlich ist der Faktor Mensch von Bedeutung. Dies umfasst auf dem Gebiet des Rapid Manufacturing zwei wesentlich Punkte:

- Erhöhung des Kenntnisstandes der betroffenen Mitarbeiter zu den generativen Fertigungsverfahren sowie zum Rapid Manufacturing
- Anpassung der genutzten Konstruktionsprinzipien an die speziellen Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologien

Durch die aktive Bearbeitung dieser Probleme besteht die realistische Chance, in den nächsten Jahren den Umfang der Nutzung des Rapid Manufacturing wesentlich zu steigern.

Literatur

- /BLR-09/ Bourell, D. L.; Leu, M. C.; Rosen, D. W.: Roadmap for Additive Manufacturing. Identifying the Future of Freeform Processing. Washington, DC. <http://wohlersassociates.com/roadmap2009.pdf>, 2009
- /ESS-09/ Eßers, M.: Ergründen neuer Rapid-Wertschöpfungsketten und -netze. Interdisziplinäre Projektarbeit, TU Dresden, 2009
- /VDI 3404/ VDI 3404:2009-10 Generative Fertigungsverfahren Rapid-Technologien (Rapid Prototyping) Grundlagen, Begriffe, Qualitätskenngrößen, Liefervereinbarungen. Berlin: Beuth Verlag
- /ZHO-10/ Zhou, X.: Untersuchungen zum Erschließen von Innovationspotenzialen mit Rapid Technologien. Diplomarbeit, HTW Dresden, 2010