

MASCHINENBAU

DIN

PRAXIS



Volker Griebach

Rapid Technologien

Verfahrens- und
Werkstoffmanagement

Beuth

Rapid Technologien

(Leerseite)

Volker Grießbach

Rapid Technologien

Verfahrens- und Werkstoffmanagement

1. Auflage 2016

Herausgeber:

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Beuth Verlag GmbH • Berlin • Wien • Zürich

Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

© 2016 **Beuth Verlag GmbH**

Berlin • Wien • Zürich

Am DIN-Platz

Burggrafenstraße 6

10787 Berlin

Telefon: +49 30 2601-0

Telefax: +49 30 2601-1260

Internet: www.beuth.de

E-Mail: kundenservice@beuth.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Die im Werk enthaltenen Inhalte wurden vom Verfasser und Verlag sorgfältig erarbeitet und geprüft. Eine Gewährleistung für die Richtigkeit des Inhalts wird gleichwohl nicht übernommen.

Der Verlag haftet nur für Schäden, die auf Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens des Verlages zurückzuführen sind. Im Übrigen ist die Haftung ausgeschlossen.

Titelbild: © Autor

Satz: Ellen Otto, Nossen

Druck: Media-Print Informationstechnologie GmbH,
Paderborn

ISBN 978-3-410-26422-4

ISBN (E-Book) 978-3-410-26423-1

Inhalt

Einführung	1	4.2.4 Druckversuch	46
1 Historie und Anwendungsbereiche	2	4.2.5 Schlagversuch	47
2 Eine Idee wird ein Produkt	4	4.2.6 Thermomechanisches Belastungsverhalten	48
3 Allgemeines zu Rapid Technologien	6	4.2.7 Dichtebestimmung	53
3.1 Begriffe und Definitionen zu Rapid Technologien	6	4.3 Ordnung und Kennzeichnung der Polymerwerkstoffe	54
3.2 Systematik der Rapid Technologien	9	4.3.1 Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Polymerwerkstoffe	54
3.2.1 Prozessketten der Rapid Technologien	10	4.3.2 Eigenschaftskennwerte für eine Ordnung der polymeren Konstruktionswerkstoffe	56
3.2.2 Rapid Management	13	4.3.3 Kennzeichnung und Kurzzeichen der Polymerwerkstoffe	57
3.2.3 Rapid Quality Management	13	5 Potenziale der Rapid Technologien und Werkstoffe	61
3.2.4 Qualifizierung der Rapid Technologien in Fertigungsklassen	14	5.1 Leistungskriterien	61
3.3 Merkmale und Grundlagen der additiven Fertigungsverfahren	18	5.2 Verfahrensbeschreibung und Werkstoffe	62
3.3.1 Grundtypen	18	5.2.1 Stereolithographie (SL)	62
3.3.2 Fertigungstechnische Prinzipien der Schichtenzeugung und Konturbildung	19	5.2.2 Lasersintern (LS) / Laserschmelzen (LM)	70
3.3.3 Baurichtungsabhängige Oberflächenqualitäten	24	5.2.3 3D-Drucken (3DP)	80
3.3.4 Qualität der Bauteile	30	5.2.4 Extrusionsformen (EM)	87
4 Allgemeines zu Werkstoffen	32	5.2.5 3D-CNC-Fräsen (3D-CNC)	94
4.1 Werkstoffwahl	32	5.2.6 Schnelles Spritzgießen (SG)	98
4.1.1 Auswahlstrategien	33	5.2.7 Schnelles Vakuumgießen (VG)	114
4.1.2 Die wichtigsten Eigenschaften der Konstruktionswerkstoffe	35	5.2.8 Schnelle Metallfeingussfertigung (MG)	124
4.1.3 Übersicht über die wichtigsten Eigenschaftskennwerte der Konstruktionswerkstoffe	36	6 Leistungsvergleich und Leistungsabnahme	131
4.2 Die Eigenschaften der Polymere und ihre Prüfverfahren	40	6.1 Leistungsvergleich der Rapid Technologien	131
4.2.1 Zugversuch	41	6.2 Leistungsabnahme von Rapid-Prototyping-Produkten	134
4.2.2 Biegeversuch	44	6.3 Leistungsabnahme von Rapid-Manufacturing-Produkten	136
4.2.3 Eindruckversuch	45	7 Zusammenfassung	137
		Der Autor	138
		Quellenverzeichnis	139

(Leerseite)

Einführung

Mit der computerintegrierten Entwicklung und Fertigung von Modellen, Mustern und Prototypen konnten ab den 1980er Jahren die Entwicklungszeiten neuer Produkte stark verkürzt werden. Nach und nach erweiterte sich der Anwendungsbereich der Rapid Technologien bis zur wirtschaftlichen Herstellung marktfähiger Produkte. Heute sind sie eine nicht mehr wegzudenkende Produktionsmethode zur schnellen und wirtschaftlichen Fertigung von Einzelstücken und Serienteilen in kleinen Losgrößen. Sie umfassen nicht nur, wie oft angenommen, die additiven Fertigungsverfahren (generative Verfahren/3D-Druck), sondern schließen weitere Verfahren, wie die subtraktive und formative Fertigung von Produkten, ein.

Unterstützt wurde diese Entwicklung durch

- leistungsfähigere Produktions- sowie Computertechnik und ihre Vernetzung mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik,
- verbesserte Prozessfähigkeit und Fertigungsgenauigkeit der Anlagentechnik,
- zunehmende Verfügbarkeit spezifizierter langzeitbelastbarer Werkstoffe.

Dieses Buch soll Produktentwickler, Formgestalter, Konstrukteure, Modell-, Werkzeug- und Formenbauer, Teilefertiger, Produkttester, Anwender sowie jeden interessierten Leser darüber informieren, welche Wege zur schnellen und effizienten Fertigung von Modellen, Mustern, Prototypen und marktfähigen Produkten eingeschlagen werden können.

Das Buch zeigt die Potenziale der gebräuchlichsten Technologien und Werkstoffe, die die hohen Anforderungen an Schnelligkeit, Qualität und Wirtschaftlichkeit erfüllen. Es liefert in konzentrierter Form sachkundige Informationen zur Bewältigung der täglichen Aufgaben in der Produktentwicklung und -erprobung. Darüber hinaus soll es anregen, weitere Anwendungsfelder für die Herstellung von kundenspezifischen Produkten in bedarfsgerechten Fertigungsmengen mit Reduzierung des Aufwandes für die Fertigungsvorbereitung zu erschließen.

Um diese umfangreiche Thematik verständlich, übersichtlich und transparent zu gestalten sowie dem Leser die praktische Anwendung zu erleichtern, wird mit zahlreichen Definitionen, Bildern, Zeichnungen und Tabellen gearbeitet. Auf Ausführungen zum theoretischen Hintergrund wird weitestgehend verzichtet. Ebenso wird aufgrund fehlender Prozessenerfahrungen des Autors nicht näher auf das Laserschmelzen von Metalllegierungen im Pulverbett und das Lasersintern von Keramikpulvern eingegangen.

Dieses Buch ist kein Lehr- oder Sachbuch im üblichen Sinne, sondern ein Arbeitsmittel und Nachschlagewerk für den beruflichen Alltag.

1 Historie und Anwendungsbereiche

Die industrielle Fertigung prägt unsere Zeit und ist Träger des wirtschaftlichen Fortschrittes. Der arbeitsteilige, mechanisierte, automatisierte und zunehmend digital vernetzte Fertigungsprozess machte es möglich, Produkte in hohen Stückzahlen, zu niedrigen Kosten, in bester Qualität herzustellen. Durch den Einsatz der Computertechnik in der Entwicklung und Fertigung neuer Produkte hat sich das Spektrum der industriellen Fertigung ab den 1980er Jahren erheblich verändert.

Die traditionellen Zielsetzungen „mehr“, „billiger“ und „besser“ wurden mit „schneller“, „globaler“ und „effizienter“ erweitert. Jede neu hinzukommende Einzelzielsetzung hat mit ihrem Typ eine Entwicklungsepoche geprägt und die Gesamtzielsetzung der industriellen Fertigung erweitert, ohne dass ein einzelnes vorangegangenes Ziel aufgegeben werden musste.

Die Zielsetzung „schneller“ konnte zuerst in der Produktentwicklung mit der Prozesskette CAD/CAM durch das 3D-Konstruieren und das 3D-CNC-Fräsen von Modellen, Mustern und Prototypen erschlossen werden. So entstand der Begriff **Rapid Prototyping**.

Mit der industriellen Nutzung der additiven Fertigungsverfahren ab den 1990er Jahren wurde der zusammenfassende Begriff **Rapid Technologien** verwendet.

Es war anfangs nicht einfach, die Rapid Technologien mit den bisherigen Erfahrungen in der traditionellen Produktfertigung im Einklang zu bringen. Vorbehalte, fehlende Sachkenntnis und übertriebene Wunsch-Ziel-Vorstellungen führten dazu, dass beim Vergleich der Rapid Technologien mit den herkömmlichen Verfahren nur deren wirtschaftli-

cher Ersatz und nicht die sich eröffnenden Chancen für die „effiziente“ Fertigung von völlig neuartigen Produktgeometrien und Fertigungsabläufen gesehen wurden.

Mit der Zeit erweiterten sich die Anwendungsbereiche der Rapid Technologien durch die Verbesserung der Produkteigenschaften und die Reproduzierbarkeit des Fertigungsprozesses. Es war nun möglich, belastbare, maßgenaue und sehr komplex gestaltete Produkte kurzfristig herzustellen. Das führte zur Reduzierung von Fertigungsstufen sowie zur Entlastung des zeitaufwendigen und kapitalintensiven Werkzeug- und Formenbaus.

Damit erschloss sich ein weiterer Anwendungsbereich der Rapid Technologien, die bedarfsgerechte Fertigung von hochwertigen Produkten in kleinen Stückzahlen. Ohne größeren Aufwand kann kurzfristig das Produktdesign nach Kundenwunsch modifiziert werden und die Fertigung erfolgen. Aufgrund des geringen Fertigungsvorbereitungsaufwandes und der schnellen Durchlaufzeit wird auf die Vorgabe einer Mindestlosgröße verzichtet und eine kostenintensive Überproduktion und Lagerhaltung vermieden.

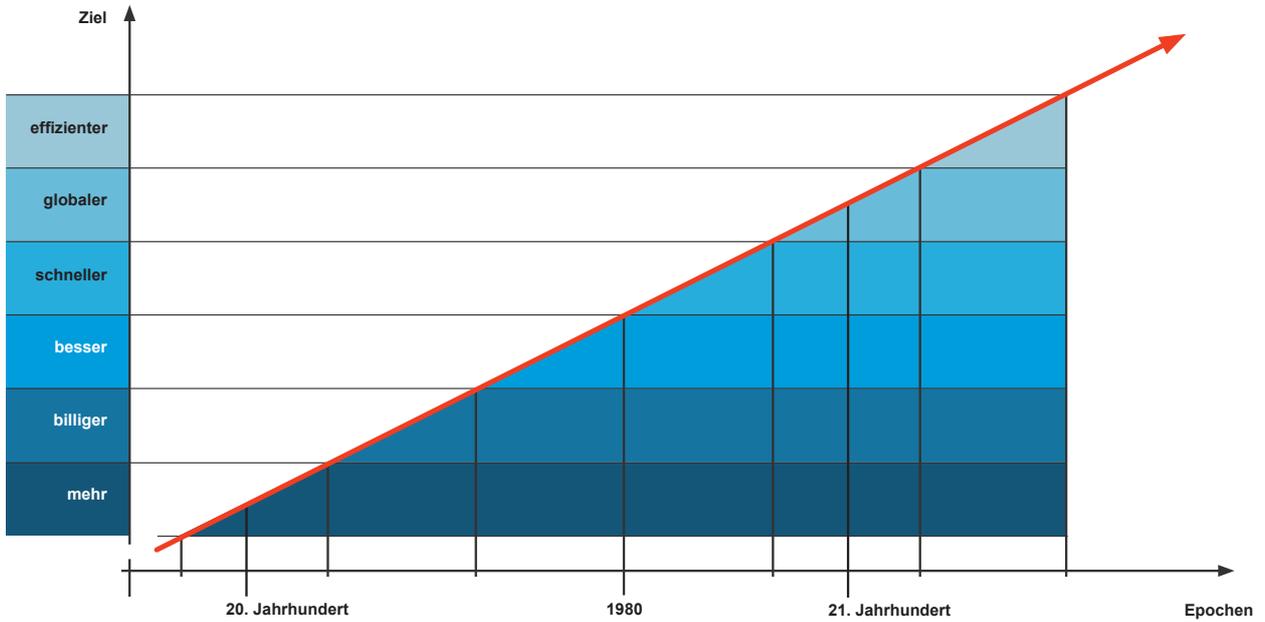


Bild 1: Entwicklung der Zielsetzungen für die industrielle Fertigung

2 Eine Idee wird ein Produkt

Die Entwicklung und Fertigung von industriellen Produkten ist ein sehr komplexer Prozess. Er umfasst die Aufgabenvielfalt des Produktlebenslaufes von der Idee über die Entwicklung, die Erprobung, die Herstellung, die Vermarktung und die Nutzung bis zur Entsorgung. Für deren Lösung wird eine große Menge von bekanntem und neuem Wissen eingesetzt.

Mit Hilfe leistungsstarker 3D-Software kann der Konstrukteur seine Produktideen am Computer perfekt umsetzen. Unter Nutzung von speziellen Programmen zur Modellierung, Visualisierung und Simulation kann er die Konstruktion des Produktes schnell ändern und die verschiedenen Entwürfe prüfen. Mit der Prüfung der Entwürfe trifft der Konstrukteur die Entscheidung, ob der Entwurf verworfen, verbessert oder zur Fertigung freigegeben wird. Es wäre zu riskant, direkt mit dem ersten Entwurf in die Fertigung zu gehen.

Ihm ist auch bekannt, dass sich nicht alle Produkthanforderungen am Computer simulieren und überprüfen lassen. Die Anforderungen an das Produkt in der Praxis sind sehr komplex und erfordern daher eine Prüfung unter praxisnahen Bedingungen. Deshalb kann auf die Fertigung von Modellen, Mustern, Prototypen und Vorserien selten verzichtet werden („Rapid Prototyping“).

Die Rapid-Prototyping-Produkte sind die „Prüfkörper“ zum Erfassen und Testen spezieller Produkthanforderungen, z. B.:

Gestalterische Merkmale:

Ästhetik und Haptik

Geometrische Merkmale:

Maß- und Abbildegenauigkeit sowie Passfähigkeit und mechanische Funktionalität

Gebrauchsmerkmale:

Ermittlung der Funktionsgrenzen und Zuverlässigkeit

Fertigungsmerkmale:

Montage- und Demontagefähigkeit, Reproduzierbarkeit

Prüfmerkmale:

Signifikante Kontrollmaße, Produktfunktionen und -eigenschaften

Erfüllt bereits der Prototyp mit der gewählten Technologie und dem Werkstoff alle Marktanforderungen, ist die Fertigung jederzeit reproduzierbar, und wird für die geplante Fertigungszahl ein wirtschaftlicher Effekt erreicht, können mit den Rapid Technologien marktfähige Produkte hergestellt werden („Rapid Manufacturing“).

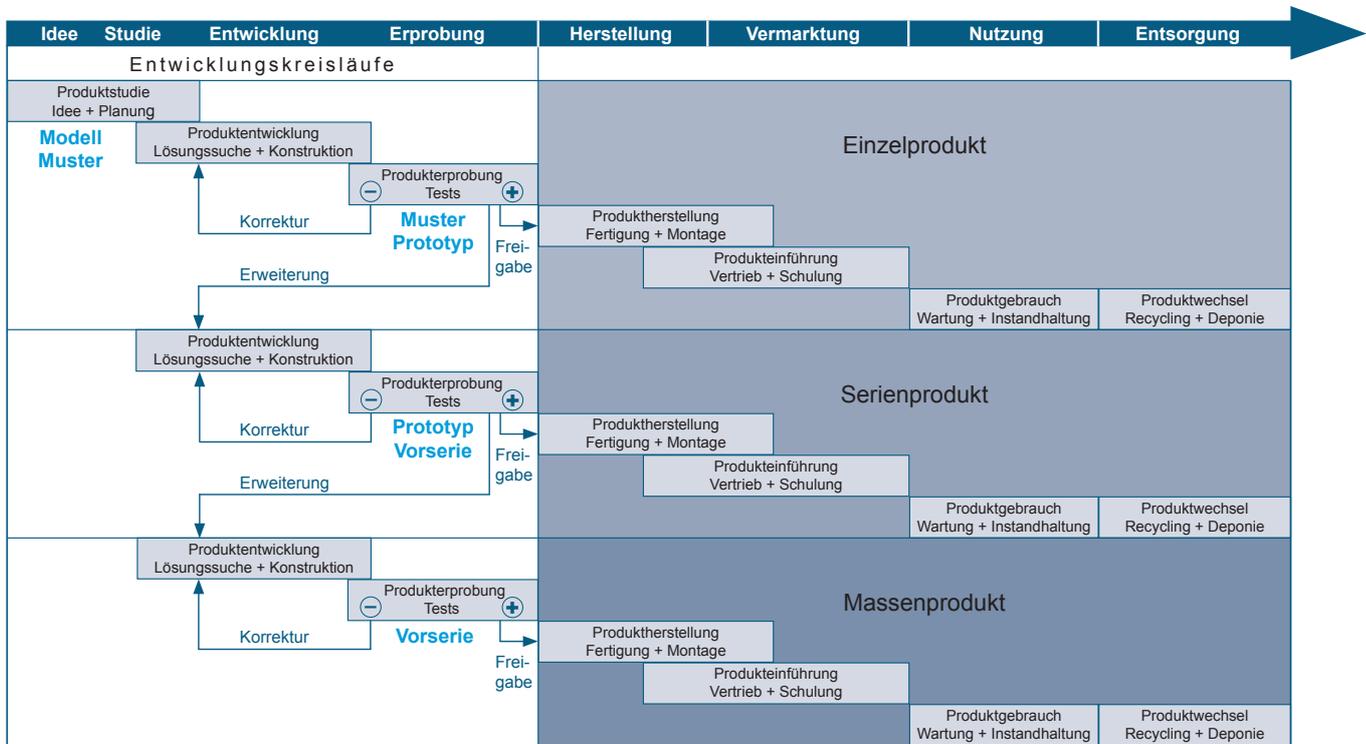


Bild 2: Produktlebenslauf

3 Allgemeines zu Rapid Technologien

- Rapid Technologien basieren auf den Fertigungsverfahren
- additive Fertigung,
 - subtraktive Fertigung und
 - formative Fertigung.

Mit den Rapid Technologien können in der durchgängigen computergesteuerten Fertigung aus 3D-CAD-Datenmodellen sehr schnell Modelle, Muster, Prototypen, Formen, Werkzeuge, Vorrichtungen und Serienteile gefertigt werden. Mit Rapid Prototyping wird die Produktentwicklung und der

„Time-to-Market“ beschleunigt. Rapid Manufacturing fertigt marktfähige Produkte in Einzelstücken und Kleinserien schnell und effizient. Rapid Tooling, der schnelle Werkzeug-, Formen- und Vorrichtungsbau, ist die Voraussetzung für die schnelle formative Fertigung.

Im trivialen Sprachgebrauch, vor allem vieler Medien, werden die Rapid Technologien der additiven Fertigung mit dem Pseudonym „3D-Druck“ zugeordnet.

3.1 Begriffe und Definitionen zu Rapid Technologien

Begriff	Erklärung
Rapid Technologien	Zusammenfassende Bezeichnung aller Verfahren zur sehr schnellen computerintegrierten Entwicklung und Herstellung von Produkten.
Rapid Prototyping	Fertigungsverfahren zur sehr schnellen Herstellung von Modellen, Mustern, Prototypen und Vorserien.
Rapid Manufacturing	Fertigungsverfahren zur sehr schnellen und effizienten Herstellung marktfähiger Produkte.
Rapid Tooling	Zusammenfassende Bezeichnung aller Verfahren zur sehr schnellen Herstellung von Vorrichtungen, Werkzeugen und Formen. Rapid Tooling ist die vorgelagerte Prozessstufe für die subtraktive bzw. formative Fertigung von Rapid-Prototyping- und Rapid-Manufacturing-Produkten.
Rapid Management	Organisationsformen zur sehr schnellen Herstellung von Modellen, Mustern, Prototypen, Vorserien und marktfähigen Produkten in Einzelstücken oder Kleinserien.
Rapid Product Development	Begriff für die sehr schnelle Produktentwicklung durch die Nutzung rechnergestützter Konstruktions-, Fertigungs-, Simulations-, Dokumentations- und Prüfprogramme.
Rapid Testing	Mess- und Prüftechniken zum sehr schnellen Nachweis der Qualität der verwendeten Werkstoffe, des Fertigungsprozesses und der Produktmerkmale.

Rapid Quality Management	Qualitätssicherungssystem für die Rapid Technologien. Es berücksichtigt die Produktentwicklungsaspekte und dient zur Reduzierung des zeitlichen und finanziellen Aufwandes in der Produktentwicklung und Kleinserienfertigung.
Fertigungsverfahren	Nach der Norm DIN 8580:2003 sind die Fertigungsverfahren zur Herstellung von geometrisch bestimmten Körpern in sechs Hauptgruppen, zweiundvierzig Gruppen und einhundertundfünfzig Untergruppen eingeteilt. Eine Einordnung der Rapid Technologien ist nach dieser Norm nur eingeschränkt möglich. Speziell die additiven Fertigungsverfahren lassen sich in dem Ordnungssystem nicht eindeutig den Gruppen zuordnen. Eine verständlichere und bessere Zuordnung der Rapid Technologien gelingt erst, wenn die Art der Werkstoffveränderung für die Herstellung des Produktes in den Mittelpunkt des Fertigungsprozesses gestellt wird. Im englischsprachigen Wirtschaftsgebiet werden die Fertigungsverfahren entsprechend in folgende drei Gruppen geordnet: <ul style="list-style-type: none"> – Additive Manufacturing – Subtractive Manufacturing – Formative Manufacturing.
Additive Fertigung	Werkstoffauftragende Fertigung Das Bauteil wird durch schichtweisen Auftrag und Verfestigung des Werkstoffes auf der Basis numerischer Geometriemodelle erzeugt. Die gebräuchlichsten Verfahren sind Stereolithographie, Lasersintern, Laserschmelzen, 3D-Drucken und Extrusionsformen.
Subtraktive Fertigung	Werkstofftrennende Fertigung Das Werkstück wird durch Abtrennen des Werkstoffes von einem Halbzeug oder Produktrohling erzeugt. Die bekanntesten Verfahren sind CNC-Fräsen, CNC-Drehen, CNC-Wasserstrahl- und -Laserschneiden sowie das funkenerosive Abtragen.
Formative Fertigung	Werkstoffformende Fertigung Das Formteil wird aus einem formbaren Werkstoff in die geforderte Geometrie gebracht. Die bekanntesten Verfahren sind Gießen, Spritzgießen, Pressen, Tiefziehen und Biegen.
Integrative Fertigung	Folgeprozesse zur Erzielung spezieller Produktmerkmale Die additiv, subtraktiv oder formativ gefertigten Teile werden durch Folgeverfahren zu einem übergeordneten Ganzen (Fertigteil, Baugruppe oder Produkt) verbunden. Die bekanntesten Verfahren sind Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaftsänderung, Finish, Beschriften und Montage.

Begriff	Erklärung
Entwicklungs-Modelle	Konzeptmodelle oder auch virtuelle Modelle sind die abstrahierte Darstellung des Produktes. Sie repräsentieren oder ersetzen die Wirklichkeit, die Gestaltung muss nicht maßstabsgerecht sein.
Fertigungs-Modelle	Urmodelle, Kopiermodelle oder „verlorene Modelle“ dienen zur Herstellung von temporären oder verlorenen Formen, z. B. Formen für den Polymerguss oder Metallguss. Sie können auch als Hilfs- und Kontrollmodelle für die Fertigung von sehr komplexen Formen und Vorrichtungen zum Einsatz kommen.
Muster	Muster, wie Gestaltungs-, Funktions-, Erprobungs-, Verkaufs-, Schulungs- oder Fertigungsmuster, sind die gegenständliche Darstellung des Produktes. Sie dienen zum Ermitteln, Testen oder Zeigen von speziellen Eigenschaften, z. B. Design, Maßhaltigkeit, Funktion, Vermarktung, Gebrauch und Entsorgung.
Prototypen	Prototypen sind die ersten Ausführungen des Produktes. Design, Maßhaltigkeit, Funktionalität und Belastbarkeit entsprechen dem Serienprodukt. Fertigungsverfahren, Werkstoffe und Produzenten können von der geplanten Serienfertigung abweichen. Mit dem Prototyp wird die Praxistauglichkeit des neuen Produktes erprobt.
Vorserienteile	Vorserienteile sind die erste Ausführung des Produktes unter seriennahen Bedingungen, d. h., Fertigungsverfahren und Werkstoffe entsprechen der geplanten Serienfertigung, während die technischen Ausrüstungen und der Produzent noch abweichen können. Vorserienteile dienen der letzten Überprüfung noch möglicher Produktmängel. Mit der Mängelbeseitigung ist der Produktentwicklungsprozess abgeschlossen.
Nullserienteile	Nullserienteile sind die ersten Ausführungen des Produktes unter Serienbedingungen, d. h., Fertigungsverfahren, technische Ausrüstungen, Werkstoff und der Produzent entsprechen zu 100 % der Serienproduktion. Mit der Nullserie wird die Serienreife von neuentwickelten Produkten nachgewiesen, bevor sie auf dem Markt gebracht werden.
Produkte	Produkte sind das Ergebnis eines Fertigungsprozesses. Sie können in Einzel-, Serien- oder Massenfertigung hergestellt werden. Mit einer optimalen Formgestaltung, Verfahrens-, Werkstoff- und Produzentenauswahl wird ein wirtschaftlicher Effekt gesichert.