

## 2 Definition zentraler Begriffe

### 2.1 Wirtschaftlichkeit

Der Begriff Wirtschaftlichkeit wird in der Betriebswirtschaftslehre im Allgemeinen zur Abbildung des Unternehmens- oder Projekterfolges verwendet. Er beschreibt hier meist das Verhältnis zwischen Ertrag und Aufwand, aber auch zwischen Leistungen (Erlösen) und Kosten [WöDö13, ThAc12]. Ist die Kennzahl der Wirtschaftlichkeit nach dieser Definition größer als eins, liegt ein positives Ergebnis vor, welches sich wiederum aus der Differenz aus den beiden Eingangsgrößen ergibt [WöDö13].

$$\text{Ergebnis} = \text{Ertrag} - \text{Aufwand} = \text{Leistung (Erlös)} - \text{Kosten}$$

Auch für die meisten Produkte kann das wirtschaftliche Ergebnis mittels der Kosten- und Leistungsrechnung ermittelt werden und ist umso einfacher, je genauer die Leistungen und Kosten abgegrenzt bzw. dem Produkt zugeordnet werden können [PIRe06]. In vielen Fällen ist eine direkte Zuordnung der Leistungen zu einem Produkt nicht oder nur sehr schwer möglich, z.B. bei einzelnen Strukturbauteilen eines Flugzeugs. Zudem ist eine rein monetäre Betrachtung der Wirtschaftlichkeit, besonders bei komplexen Sachverhalten, oft nicht ausreichend. Am Beispiel des Flugzeugbauteils lässt sich dies sehr gut veranschaulichen. Die Aufwands- bzw. Kostenseite lässt sich über die Entwicklungs- und Herstellkosten sehr gut zuordnen. Die Leistungsseite besteht an dieser Stelle jedoch nicht aus einem Geldwert, z.B. einem Verkaufserlös, sondern aus dem Grad der Funktionserfüllung, wie sie im Lastenheft des entsprechenden Bauteils beschrieben ist. Damit würde sich die virtuelle Leistungserbringung des Bauteils mit einer besseren Funktionserfüllung, d.h. mit optimierten Bauteileigenschaften, auch steigern.

Im Rahmen dieser Arbeit wird daher die Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Produktes oder Bauteils, neben den monetären Aspekten bzw. Herstellkosten, auch die Bauteileigenschaften beinhalten. Basierend auf der ursprünglichen Definition der Wirtschaftlichkeit aus [ThAc12, WöDö13], werden den Größen Leistung und Kosten bestimmte Bewertungskriterien zugeordnet, um eine Gesamtwirtschaftlichkeitsaussage abzuleiten.

**Leistungskriterien** – Gewichtersparnis, Funktionserweiterung / -integration, Bauteilverfügbarkeit inkl. möglicher sekundärer Effekte im Gesamtsystem, z.B. logistische Vorteile oder verkürzte Standzeiten von Maschinen und Flugzeugen bzw. Fahrzeugen

### **Kostenkriterien** – Entwicklungskosten, Herstellungskosten

Entlang dieser Kriterien können dann generative mit konventionellen Fertigungsverfahren, bezogen auf ein bestimmtes Produkt- bzw. Bauteileportfolio, verglichen werden. Um eine quantitative Einbindung aller Kriterien der Gesamtwirtschaftlichkeit zu gewährleisten, müssen diese auf eine gemeinsame Einheit, hier den monetären Gegenwert, gebracht werden.

$$\begin{aligned} & \textit{Monetärer Wert der Gesamtwirtschaftlichkeit} \\ &= \textit{Leistungskriterien(monetärer Gegenwert)} \\ &\quad - \textit{Kostenkriterien} \end{aligned}$$

Die genaue Umsetzung dieser Wirtschaftlichkeitsbewertung und Umrechnung auf monetäre Gegenwerte wird in Kapitel 4 näher betrachtet. Bestehende Methoden zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit sind in Abschnitt 3.4 zu finden.

## **2.2 Leichtbau- und Funktionspotentiale**

Die Leichtbau- und Funktionspotentiale sind neben Kosten und Zeit zwei Hauptbewertungskriterien der Wirtschaftlichkeit und stellen die Qualität der Produkt- oder Bauteileigenschaften dar.

**Leichtbaupotentiale** – Im Kontext dieser Arbeit beschreiben sie mögliche Gewichtsreduktionen von Bauteilen auf Grund größerer, konstruktiver Gestaltungsfreiheiten bei der Fertigung mittels generativer Verfahren. Über die im ersten Schritt ermittelte physische Gewichtseinsparung gegenüber einem konventionell gefertigten Bauteil, wird besonders im Flugzeug- und Automobilbau die Gewichtsersparnis mit konkreten monetären Gegenwerten beschrieben. So ist ein Kilogramm Gewichtsersparnis im Flugzeugbau durchschnittlich 500 – 1.000 € wert [BUL14, DeLü09]. Dieser Wert ändert sich jedoch stark mit der betrachteten Industrie und dem Anwendungsbereich, sodass bei größeren Stückzahlen, wie in der Automobilindustrie, zwischen 3 €/kg und 20 €/kg Kostenerhöhung möglich sind [DeLü09]. Unter Berücksichtigung der aktuellen Megatrends Nachhaltigkeit und Emissionsreduktion ist eine zunehmende Bedeutung des Leichtbaus und damit ein Wachstum dieses monetären Gegenwertes für jedes Kilogramm in der Zukunft zu erwarten.

**Funktionspotentiale** – Diese beinhalten in der folgenden Definition vier grundsätzliche Aspekte der Produkt- und Bauteiloptimierung und sind von der individuellen Einbausituation und dem genauen Einsatzzweck des Bauteils abhängig:

- Funktionsoptimierung: Verbesserung bestehender Funktionen, wie z.B. mechanische Eigenschaften, Prozessoptimierung bei Einsatz in Folgeprozessen
- Funktionsintegration: Erweiterung des bestehenden Funktionsspektrums bzw. Integration von Funktionen anderer Bauteile
- Integrierungsgrad: Realisierung einer Bauweise mit höherem Integrationsgrad und damit zusätzliche Einsparung von Herstellungs- und Montagekosten

Entlang dieser Aspekte wird dargestellt, welche grundsätzlichen Möglichkeiten bestehen bzw. in anderen Projekten bereits realisiert wurden. Im Anschluss kann für das individuelle Produkt dann entschieden werden, welche Funktionspotentiale gehoben werden können. Details hierzu sind, analog der Leichtbaupotentiale, in Abschnitt 3.4 und Kapitel 4 zu finden.

## 2.3 Generative Fertigungsverfahren und mediale Begriffe

Dieser Abschnitt dient der Klärung und Abgrenzung medial geprägter Begriffe im Zusammenhang mit *generativen Fertigungsverfahren*. Dazu sollen zunächst Technologiebezeichnungen, wie Additive Fertigungsverfahren, 3D-Druck und Rapid-Verfahren, im jeweils genutzten Kontext erläutert werden. Im Anschluss werden Begriffe wie Rapid Prototyping, Rapid Tooling und Rapid Manufacturing näher beschrieben, die aus der historischen Entwicklung und den Anwendungsgebieten entstanden sind.

Als *generative Fertigungsverfahren* werden alle Fertigungsverfahren bezeichnet, die eine gewünschte Geometrie durch automatisiertes, meist schichtweises, Aneinanderfügen von Volumenelementen herstellen. Die Bezeichnung *Additive Fertigungsverfahren*, engl. *Additive Manufacturing*, wird in der Praxis gleichrangig verwendet. Beide Begriffe sind in den Richtlinien VDI 3404 (Deutschland) und ASTM F2792 (USA) genormt [Geb13]. Alternative Bezeichnungen für *generative Fertigungsverfahren* sind auch *Additive Layer Manufacturing (ALM)*, *Rapid Technology*, *Rapid-Technologien* oder *Rapid-Verfahren* [Geb07].

Der medial geprägte generische Begriff *3D-Druck (3D printing)* bezeichnet meist auch die gesamte Technologie der generativen Fertigungsverfahren. Das liegt vor allem an der einfachen Vermittelbarkeit des Begriffes. Ausgehend von einem herkömmlichen 2D-Drucker für Dokumente, ist die Möglichkeit zur Herstellung eines dreidimensionalen physischen Bauteils mittels eines 3D-Druckers leicht verständlich. Es ist daher anzunehmen, dass der Begriff *3D-Druck (3D printing)* in Zukunft weltweit als Bezeichnung für alle

generativen Verfahren akzeptiert wird [Geb13]. Der generische Begriff *3D-Druck* ist jedoch nicht mit der gleichnamigen, spezifischen Pulver-Binder-Verfahrensvariante zu verwechseln, Näheres in Kapitel 3.

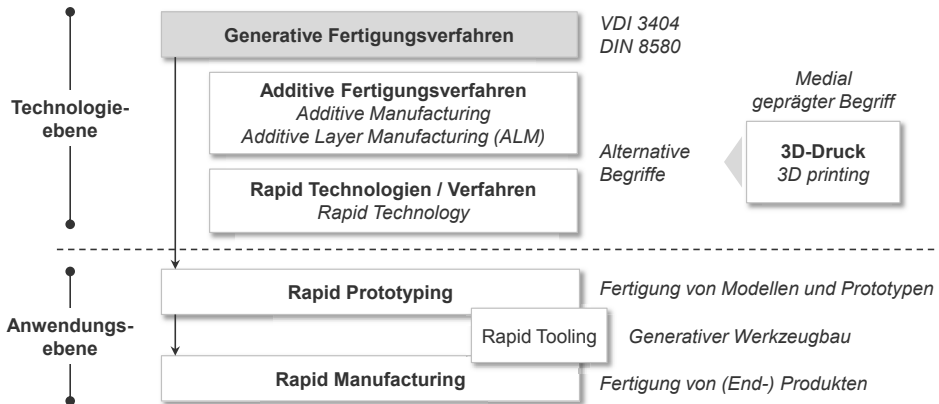


Abbildung 2.1: Bezeichnungen der generativen Fertigungsverfahren auf Technologie- und Anwendungsebene, in Anlehnung an [Geb07]

Die eben beschriebene Gruppe der *generativen Fertigungsverfahren*, oder auch Rapid-Verfahren, lässt sich zudem, je nach Anwendungsbereich, in das *Rapid Prototyping*<sup>1</sup> zur Herstellung von Prototypen oder Modellen und das *Rapid Manufacturing* zur Herstellung von fertigen Produkten gliedern. Als *Rapid Tooling* wird meist die Herstellung von Werkzeugen und Werkzeugeinsätzen bezeichnet. Dieser Anwendungsbereich begründet jedoch keine eigene Gruppe, sondern ist je nach Bauteil dem *Rapid Prototyping* oder *Rapid Manufacturing* zuzuordnen. Alle hier erläuterten Begriffe lassen sich auf Technologie- und Anwendungsebene in einen Kontext bringen (vgl. Abbildung 2.1).

### 2.3.1 Rapid Prototyping

*Rapid Prototyping* bezeichnet die Nutzung *generativer Fertigungsverfahren* zur Herstellung von Prototypen und Modellen ohne (End-) Produktcharakter. Sie dienen ausschließlich der Präsentation einzelner Eigenschaften des späteren Produktes. Im

<sup>1</sup> Die englischen Begriffe, wie Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing, werden im Deutschen ebenfalls genutzt und daher im Rahmen dieser Arbeit auch bewusst so verwendet [Geb07]. Dies gilt analog für weitere angelsächsische Verfahrensbezeichnungen.

Produktentwicklungsprozess können diese Eigenschaften damit schnell physisch umgesetzt und entsprechend abgesichert werden [Geb07]. Eine dauerhafte Nutzung der Prototypen im Sinne des finalen Produktes ist meist nicht beabsichtigt.

### 2.3.2 Rapid Manufacturing

Als *Rapid Manufacturing* wird die generative Fertigung von Bauteilen mit Endprodukteigenschaften bezeichnet. Dies können sowohl positive Geometrien sein, wie Kleinserienbauteile oder individuelle Produkte, als auch negative Geometrien, wie Werkzeugformen oder Werkzeugeinsätze. Die generative Herstellung von Positiven wird *Direct Manufacturing* und die von Werkzeugen und Werkzeugeinsätzen *Direct Tooling* genannt [Geb07].

Der Begriff *Rapid Tooling* bezeichnet die allgemeine Herstellung von Werkzeugen und Werkzeugeinsätzen mittels *generativer Fertigungsverfahren*, unabhängig von der Nutzung als Prototyp oder Endprodukt. Daher liegt hier keine separate Anwendungsebene vor, sondern vielmehr eine Gruppierung der zwei Anwendungen *Prototype Tooling* und *Direct Tooling* [Geb07].

## 2.4 Literaturverzeichnis – Kapitel 2

- [BUL14] BULGURLU, D.: *Technical and commercial evaluation of new manufacturing methods for secondary structure*. Master thesis, 3 Nov. 2014.
- [DeLü09] DEGISCHER, H.-P. und LÜFTL, S.: *Leichtbau. Prinzipien, Werkstoffauswahl und Fertigungsvarianten*. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. Wiley Online Library. 978-3-527-32372-2.
- [Geb07] GEBHARDT, A.: *Generative Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing*. 3. Auflage. München: Carl Hanser Fachbuchverlag, 2007. 978-3-446-22666-1.
- [Geb13] GEBHARDT, A.: *Generative Fertigungsverfahren. Additive manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion*. 4., neu bearb. und erw. Aufl. München: Hanser, 2013. 978-3-446-43652-7.
- [PIRe06] PLINKE, W. und RESE, M.: *Industrielle Kostenrechnung. Eine Einführung*. 7. Auflage. Berlin [u.a.]: Springer, 2006. 978-3-540-23705-1.
- [ThAc12] THOMMEN, J.-P. und ACHLEITNER, A.-K.: *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht*.

7., vollst. überarb. Aufl. 2012. Wiesbaden: Gabler Verlag; Imprint: Gabler Verlag, 2012. SpringerLink : Bücher. 978-3-8349-3416-1.

- [WöDö13] WÖHE, G. und DÖRING, U.: *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 25., überarb. und aktualisierte Aufl. München: Vahlen, 2013. Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. 978-3-8006-4687-6.

Potentialbewertung generativer Fertigungsverfahren  
für Leichtbauteile

Schmidt, T.

2016, XXIX, 247 S. 91 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-52995-9