



Projekt: AM4Industry

## Ein Kosten-Nutzen-Modell für die Bewertung additiver Fertigungsverfahren

Ein strukturiertes Vorgehen erleichtert den Einstieg in die additive Fertigung und zeigt Potenziale für das Unternehmen und den Kundennutzen auf

Den additiven Fertigungsverfahren wird großes Potenzial zugesprochen, die gesamte Wertschöpfungskette zu verändern. Viele Unternehmen stehen nun vor der Herausforderung, diese vielversprechende Technologie bewerten und eigene Strategien entwickeln zu müssen. Dazu stehen ihnen lediglich einzelne Erfolgsbeispiele und keine allgemeine Methodik zur Verfügung. Zur Unterstützung der Unternehmen bei dieser Bewertung wird am *FIR an der RWTH Aachen* im Projekt AM4Industry ein Kosten-Nutzen-Modell entwickelt, mit dem Handlungsempfehlungen aus den Erfolgsbeispielen abgeleitet werden können. Zur Gestaltung eines solchen Modells werden sowohl die Lebenszykluskosten analysiert als auch die Zusammenhänge und Wechselwirkungen der potenziellen Nutzendimensionen strukturiert. Die Strukturierung der Nutzendimensionen erleichtert eine quantifizierte Bewertung, die in Kombination mit einer hohen Kostentransparenz den Einsatz der additiven Fertigung häufiger rechtfertigt. Gefördert wird das Projekt durch das *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)* aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags.

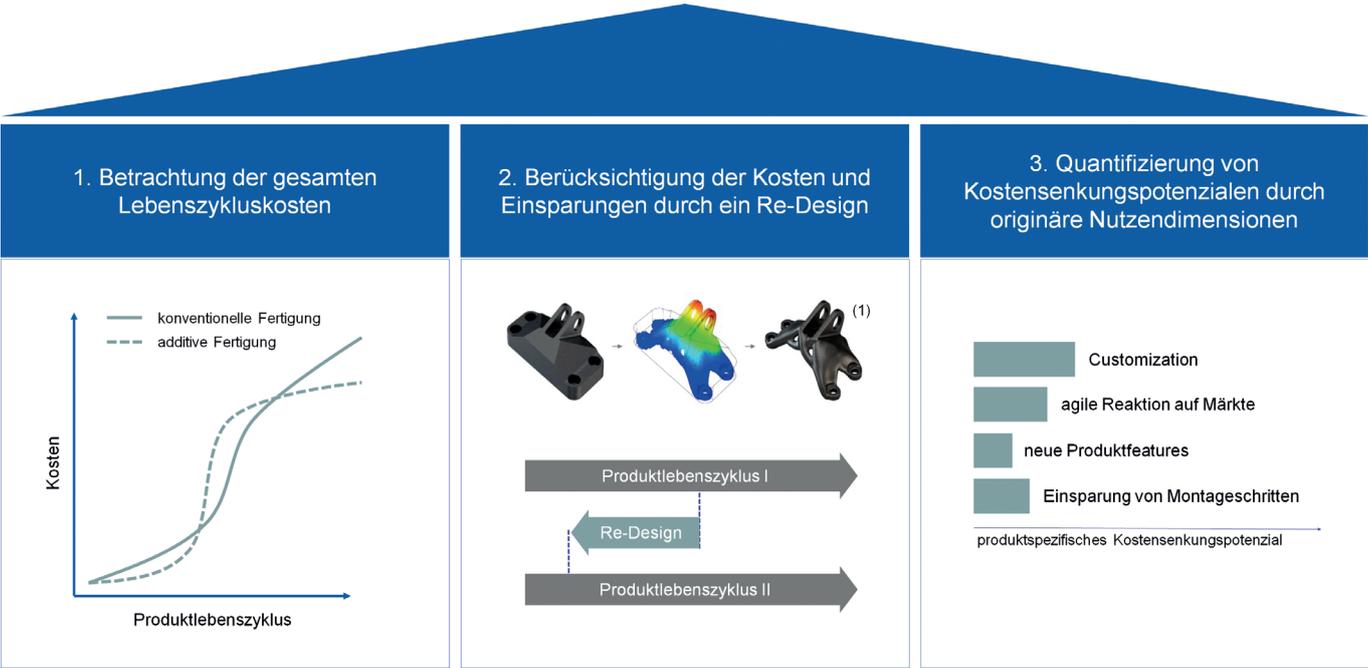
**D**ie im Volksmund als „3-D-Druck“ bekannte Technologie wird schon lange nicht mehr nur von Heimwerkern und Bastlern benutzt, sondern mittlerweile in der Industrie als Produktionstechnologie ernstgenommen. Zum Beispiel wurden im Airbus A35 XWB nach Angaben des Unternehmens *Stratasys* über 1.000 additiv gefertigte Bauteile montiert [1]. Auch in der Automobilbranche wird die Technologie verwendet, wie zum Beispiel zur Herstellung von Wasserpumpenrädern der Motorsport-Kleinserien bei *BMW* [2]. Allerdings betrachten viele produzierende Unternehmen die Anwendung der additiven Fertigung als unrentabel, da die Herstellungskosten nicht unmittelbar mit konventionellen Fertigungsverfahren wie z. B. dem Spritzgießen, Drehen oder Fräsen konkurrieren können [3]. Im Forschungsprojekt AM4Industry zeigen wir, dass durch die alleinige Betrachtung der Herstellkosten viel Potenzial vernachlässigt wird und für viele Unternehmen eine detailliertere Betrachtung der Kosten und Nutzen lohnenswert ist.

Es existieren derzeit nur wenige Kostenmodelle für die additive Fertigung und diese fokussieren in der Regel lediglich die Herstellungskosten. LINDEMANN ET AL. stellten diesen Mangel bereits fest und empfahlen die Betrachtung der Lebenszykluskosten für eine vollständige Bewertung [4]. Für eine umfassende Kostenbewertung müssen also die bestehenden Modelle um die restlichen Komponenten der Lebenszykluskosten ergänzt werden. Außerdem wird der Fehler bei der Kostenbetrachtung gemacht, dass zusätzliche Freiheitsgrade der additiven Fertigung vernachlässigt werden und somit zusätzliche Kundennutzen nicht realisiert werden [2]. Ein Re-Design des ursprünglichen Produkts kann die Nutzung der Potenziale der Technologie erst ermöglichen [5]. So wird beispielsweise die Herstellung einer Standardschraube mittels additiver Fertigung vermutlich nie günstiger sein als mit herkömmlichen Fertigungsverfahren. Wenn nun aber die hohe Gestaltungsfreiheit der additiven Fertigung genutzt wird, um die Schraube zu verbessern, kann ein ganz

neues Produkt bzw. Geschäftsmodell entstehen. Interne Hohlräume z. B. könnten gedruckt werden, die das Gewicht bei gleicher Steifigkeit reduzieren oder Kanäle für zusätzliche Features bereitstellen, wie z. B. für eine innovative Schraubensicherung, eine Sensorintegration oder einen nicht kopierbaren Plagiatsschutz. Selbstverständlich sind die Herstellungskosten einer solchen Spezialschraube immer noch sehr hoch im Vergleich zur Standardschraube. Es wurden jedoch verbesserte mechanische Eigenschaften sowie zusätzliche Funktionen realisiert, welche die Lebenszykluskosten des gesamten Bauteils reduzieren oder einen außerordentlichen nichtmonetären Mehrwert schaffen. Aber wie schafft man es nun, diese zwei völlig verschiedenen Produkte miteinander zu vergleichen?

Das entwickelte Kosten-Nutzen-Modell beruht auf einem dreiteiligen Lösungsansatz (s. Bild 1, S. 35):

- Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten



(1) Bildquelle: <https://3druck.com/programme/topologie-optimierung-mit-generate-von-frustum-2952754/>

Bild 1: Lösungsansatz für das Kosten-Nutzen-Modell der additiven Fertigung

- Berücksichtigung der Kosten und Einsparungen durch ein Re-Design
- Quantifizierung des Zusatznutzens anhand von originären Nutzendimensionen

kompenziert werden, falls man die kumulierten Lebenszykluskosten betrachtet. Zur Vereinfachung dieser Kostenanalyse stellen wir häufig verwendete Formeln und Daten der additiven Fertigung in einem Softwaretool zusammen. Dabei wird auch die mögliche Berücksichtigung eines Re-Designs mit aufgenommen. Je nach aktuellem Fortschritt eines

Produktentstehungsprozesses und dem Grad der Anpassung können erhebliche Änderungskosten entstehen. Gerade dadurch, dass häufig nur kleine Stückzahlen bei der additiven Fertigung in Erwägung gezogen werden, fallen die Änderungskosten stärker ins Gewicht und sind nicht zu vernachlässigen. Die Bewertung der nichtmonetären

Das vorherige Schraubenbeispiel hat bereits veranschaulicht, dass hohe Herstellungskosten unter Umständen

		Alleinstellungsmerkmale der additiven Fertigung						
		Material-eigenschaften	Geometrie-freiheit	Material-kombinationen	werkzeuglose Fertigung & Effizienz kleiner Losgrößen	CAD2-Product	formloses Rohmaterial	
resultierende Mehrwerte	Produkt	längere Lebensdauer						
		bessere Produktperformance	Ästhetik	neue/zusätzliche Features				
Unternehmen		verbessertes Design for Assembly			verbessertes Design for Manufacturing/DfX			
		v. Produktindiv.		verbesserte Produktindividualisierung				
				verbesserter Kundenservice				
				flexible Reaktion auf Marktaktivitäten				

Bild 2: Strukturierung der potenziellen Mehrwerte durch die additive Fertigung

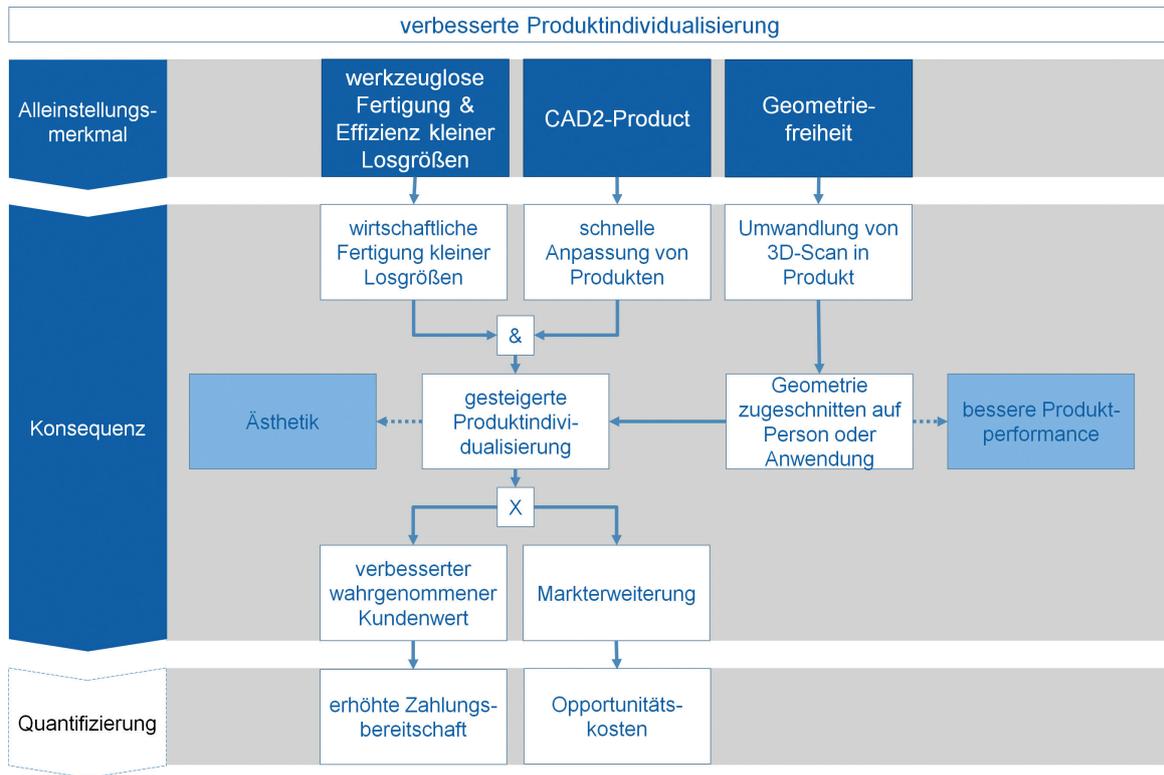


Bild 3: Verbesserte Produktindividualisierung durch additive Fertigung im Detail

Nutzenwerte beinhaltet die größte Problematik des gesamten Kosten-Nutzen-Modells, da jene von vielen äußeren Einflüssen abhängt [2].

**Nutzenaspekte bislang nur unzureichend berücksichtigt**

Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Bewertung des Nutzens der additiven Fertigung. In der Literatur befinden sich viele qualitative Aussagen über die Nutzenpotenziale der additiven Fertigung. Außerdem wurden im Rahmen von Fallstudien jeweils einzelne Erfolgsbeispiele realisiert und bewertet. Es mangelt jedoch an einer klaren Struktur, um diese im Einzelnen bewerten zu können. Betrachten Sie dazu einmal das folgende Negativbeispiel einer Auflistung von Mehrwerten der additiven Fertigung: keine Werkzeuge notwendig, hohe Flexibilität für Designänderungen, Möglichkeit zur wirtschaftlichen Produktion kleiner Losgrößen sowie die Möglichkeit, kundenindividuelle Produkte zu fertigen [6]. Die Nennung aller Merkmale ist zwar gerechtfertigt, jedoch bedingen diese sich gegenseitig. So wird beispielsweise die Herstellung kunden-

individueller Produkte erst dadurch begünstigt, dass ein teures Werkzeug obsolet wird und somit kleinere Losgrößen wirtschaftlicher hergestellt werden können. Durch diese Abhängigkeiten und Wechselwirkungen ist es nicht sinnvoll, eine Nutzenbewertung anhand einer solchen Auflistung durchzuführen.

**Strukturierte Nutzenanalyse als Enabler für den 3D-Druck**

Als Lösungsansatz zur Strukturierung der Mehrwerte wurden sämtliche Vorteile und Potenziale aus der Literatur zunächst unterschieden in Alleinstellungsmerkmale und resultierende Mehrwerte. Weiter wurde unterschieden, ob der Mehrwert für das Produkt bzw. den Kunden oder für das Unternehmen entsteht (s. Bild 2, S. 35). Mit Bezug zum vorherigen Beispiel ist also die die Werkzeuglosigkeit bzw. eine Kosteneffizienz kleiner Losgrößen (werkzeuglose Fertigung & Effizienz kleiner Losgrößen) als ein Alleinstellungsmerkmal der additiven Fertigung anzusehen, welches das Anbieten kundenindividueller Produkte erleichtert (verbesserte Produktindividualisierung). Die resultierenden Mehrwerte werden

weiter ausdetailliert, indem logische Konsequenzen und Kennzahlen von den Alleinstellungsmerkmalen abgeleitet werden. Durch diese Strukturierung werden sämtliche Potenziale durch den Anwender selbst aufgedeckt. Eine spätere Nutzwertanalyse wird so nicht nur vereinfacht, sondern es werden auch Inspirationen für zahlreiche Produkt- und Prozessverbesserungen geliefert. Dies ermöglicht den Unternehmen, die bestehenden Erfolgsbeispiele zu verstehen und Maßnahmen für die eigene Produktion abzuleiten.

Beispielhaft sind die Wirkungsketten für die verbesserte Produktindividualisierung durch die additive Fertigung dargestellt (s. Bild 3). Das Attribut der werkzeuglosen Fertigung hat zunächst zur Konsequenz, dass kleine Losgrößen wirtschaftlich gefertigt werden können. Aus der direkten Fertigung einer CAD-Datei folgt hingegen eine Möglichkeit, Produkte schnell anpassen zu können. Erst aus der Kombination dieser beiden Konsequenzen geht hervor, dass die Produktindividualisierung gesteigert werden kann, ohne dass ein wesentlicher Mehraufwand entsteht. Die gesteigerte Produktindividualisierung verbessert den

wahrgenommenen Kundenwert oder ermöglicht den Eintritt in neue Märkte. Diese Konsequenzen können letztlich durch eine erhöhte Zahlungsbereitschaft bzw. durch Opportunitätskosten quantifiziert werden. Außerdem sind in dem Schaubild weitere Einflüsse durch das Attribut der Geometriefreiheit sowie die Wechselwirkungen zu den Toplevel-Mehrwerten „Ästhetik“ und „Bessere Produktperformance“ (s. Bild 2, S.35) zu sehen.

Durch eine abschließende Verknüpfung sowohl der Lebenszykluskosten und des Re-Designs als auch der potenziellen Mehrwerte werden wir eine umfangreiche Entscheidungshilfe zur Implementierung der additiven Fertigung anhand aktueller Daten anbieten. Damit soll vermieden werden, dass unbeachtete Potenziale vernachlässigt werden. Angesichts der starken Forschungsaktivitäten, z. B. zur Verbesserung der Aufbaurrate, der Prozessstabilität oder der Integration in existierende Wertschöpfungsstrukturen, wird die Durchdringung der additiven Fertigung stetig vorangetrieben [7]. Aus diesem Grund empfehlen wir Ihnen, sich schon heute intensiv mit der Technologie zu beschäftigen und sich eine Methodik zur Bewertung dieser Technologie anzueignen.

## Literatur

- [1] Simmons, Dan: Airbus had 1,000 parts 3D printed to meet deadline. BBC News online, 06.05.2015. <http://www.bbc.com/news/technology-32597809> (zuletzt geprüft: 08.05.2018)
- [2] Bauer, D.; Borchers, K.; Burkert, T. et al.: Handlungsfelder Additive Fertigungsverfahren. April 2016. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2016. [https://www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/redakteur\\_dateien/gpl\\_dateien/6242\\_PUB\\_GPL\\_Handlungsfelder\\_-\\_Additive\\_Fertigungsverfahren\\_Internet.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/6242_PUB_GPL_Handlungsfelder_-_Additive_Fertigungsverfahren_Internet.pdf) (zuletzt geprüft: 08.05.2018)
- [3] Wohlers Associates Inc.: Wohlers Report 2017. 3D printing and additive manufacturing state of the industry: annual worldwide progress report. Wohlers Associates, Fort Collins (CO) 2017.
- [4] Lindemann, C.; Jahnke, U.; Moi, M.; Koch, R.: Analyzing Product Lifecycle Costs for a Better Understanding of Cost Drivers in Additive Manufacturing. In: Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium 22 (2012) 1, S. 177 – 188. <https://pdfs.semanticscholar.org/e2ba/af5b605f631bcc683ff36d38867ea2fc5eao.pdf> (zuletzt geprüft: 08.05.2018)
- [5] Atzeni, E.; Iuliano, L.; Minetola, P.; Salmi, A.: Redesign and cost estimation of rapid manufactured plastic parts. In: Rapid Prototyping Journal 16 (2010) 5, S. 308 – 317.
- [6] Zanardini, M.; Bacchetti, A.; Ashour, M.; Zanoni, S.: [Conference Paper] Benefits and costs of additive manufacturing applications: an holistic evaluation guide 2015. Conference: Proceedings of 20th Summer School "Francesco Turco". [https://www.researchgate.net/publication/306100171\\_Benefits\\_and\\_Costs\\_of\\_Additive\\_Manufacturing\\_Applications\\_An\\_Evaluation\\_Guideline](https://www.researchgate.net/publication/306100171_Benefits_and_Costs_of_Additive_Manufacturing_Applications_An_Evaluation_Guideline) (zuletzt geprüft: 08.05.2018)
- [7] Gausemeier, J.; Echterhoff, N.; Kokoschka, M.; Wall, M.: Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Future Applications. Direct Manufacturing Research Center (DMRC) an der Universität von Paderborn, Paderborn 2014. [https://dmrc.uni-paderborn.de/fileadmin/dmrc/06\\_Downloads/01\\_Studies/DMRC\\_Study\\_Part\\_2.pdf](https://dmrc.uni-paderborn.de/fileadmin/dmrc/06_Downloads/01_Studies/DMRC_Study_Part_2.pdf) (zuletzt geprüft: 08.05.2018)

## Ansprechpartner:



Tobias Schröer, M.Sc.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
FIR, Bereich Produktionsmanagement  
Tel.: +49 241 47705-407  
E-Mail: Tobias.Schroerer@fir.rwth-aachen.de



Sören Münker  
Studentische Hilfskraft  
FIR, Bereich Produktionsmanagement

**Projekttitle:** AM4Industry

**Projekt-/Forschungsträger:** BMWi; AiF

**Förderkennzeichen:** 179 EN

**Projektpartner:** ecoplus. Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH; ETHEN ROHRE GmbH; Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV; Nordischer Maschinenbau Rud. Baader GmbH + Co. KG; TOP Mehrwert-Logistik GmbH & Co. KG

**Internet:** [am4industry.fir.de](http://am4industry.fir.de)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

