

Untersuchung zur Energieeffizienz von Rapid-Prototyping-Verfahren

Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk

Fakultät Betriebswirtschaft und
Wirtschaftsingenieurwesen (B+W)

Campus Gengenbach
Klosterstraße 14

77723 Gengenbach

Tel. (0 78 03) 96 98-44 21

E-Mail: stefan.junk@hs-offenburg.de

1971: Geboren in Wadern

Ausbildung zum Werkzeugmechaniker bei DIEHL, Mariahütte

1999: Diplom-Ingenieur Konstruktions- und Fertigungstechnik,
Universität des Saarlandes

2003: Promotion über „Inkrementelle Blechumformung“
bei Prof. Hirt, heute RWTH Aachen

2004 – 2008: Prozessentwicklung bei Eberspächer Abgastechnik,
Neunkirchen

2008: Professur für Computer Aided Engineering CAE und Ma-
schinenelemente

Forschungsgebiete: Produktentwicklung, Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Reverse Engineering



4.1 Untersuchung zur Energieeffizienz von Rapid-Prototyping-Verfahren

Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Samantha Côté
M. Eng.*

Abstrakt

Der effektive Einsatz von Energie ist vor dem Hintergrund von begrenzten Ressourcen und der Forderung nach einer Reduzierung der bei der Energiegewinnung entstehenden Umweltbelastungen von wachsender Bedeutung. Für die noch relativ junge Gruppe der generativen Fertigungsverfahren liegen bis heute kaum Untersuchungen zum Energieverbrauch vor. Deshalb werden in diesem Beitrag zwei weit verbreitete Rapid-Prototyping-Verfahren (3D-Drucken und Fused Deposition Modeling) hinsichtlich ihres Energieverbrauchs untersucht und verglichen. Zudem werden Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz aufgezeigt und Einsparmöglichkeiten genannt.

Einleitung

Der Energiebedarf der wachsenden Weltbevölkerung sowie des industriellen Sektors steigen kontinuierlich. Dies führt zu Emissionen, Umweltbelastungen, Klimawandel und Knappheit fossiler Ressourcen [1]. Für Unternehmen bedeutet dies nicht nur, dass sich die Kosten für Energie erhöhen und sich die umweltpolitischen Vorgaben verschärfen, wie beispielsweise nach dem Kyoto-Protokoll zum internationalen Klimaschutz, sondern sie stehen auch in der direkten Verantwortung, die negativen Auswirkungen ihres Energiebedarfs einzudämmen, indem sie nachhaltig handeln. Das Energieeinsparpotenzial ist enorm, da allein in Deutschland etwa die Hälfte des Stromverbrauchs von Industrie und Handel verursacht

wird [2]. Treffen Unternehmen Maßnahmen, um Energie einzusparen und effizient einzusetzen, so bedeutet dies wiederum eine Verringerung der Emissionen, Umweltbelastungen und des Rohstoffverbrauchs. Energieeffizientes Handeln führt zu einer Minimierung der Energiekosten, sodass die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und ihrer Produkte gesteigert werden kann [1].

Neben diesen energetischen Herausforderungen werden Unternehmen mit Veränderungen der Marktbedürfnisse konfrontiert. So sind heute bei vielen Produkten mehr Varianten bei geringeren Stückzahlen gefordert, da die Endverbraucher individuelle Produkte den Masseprodukten vorziehen. Der technische Fortschritt führt außerdem dazu, dass sich die Produktlebenszyklen je nach Bereich stark verkürzen. Um diesen Marktbedürfnissen gerecht zu werden, müssen Unternehmen ihre Produktentwicklung anpassen und ihre Produktentwicklungszeit reduzieren. [3] Eine Möglichkeit dazu bietet der Einsatz von Rapid-Prototyping-Verfahren.

Vorstellung der beiden untersuchten Rapid-Prototyping-Verfahren

Rapid Prototyping (RP) bezeichnet das schnelle Herstellen von Muster- oder Prototypenbauteilen durch einen schichtweisen Aufbau der Bauteile. Es wird „ein Ausgangsmaterial durch Einbringen von Energie Schicht für Schicht verfestigt“. Die einzelnen Schichten werden miteinander verbunden. Das Ausgangsmaterial kann sowohl pulverförmig, fluid oder auch fest sein. Dies ist abhängig von der eingesetzten Verfahrensguppe. [4]

Deshalb wurden exemplarisch zwei weit verbreitete Verfahren untersucht: zum einen das „Fused Deposition Mo-

deling“ (FDM) und zum anderen das „3-Dimensional-Printing“ (3DP). Das 3DP wird auf dem Campus Gengenbach in der Lehre und in der Forschung angewendet sowie als Dienstleistung für die regionale Wirtschaft angeboten. Im Rahmen dieser Untersuchung [5] wurde ein 3D-Drucker „ZPrinter Z450®“ von ZCorporation im Labor für Rapid Prototyping (Campus Gengenbach) eingesetzt. Zudem wurde als zweites RP-System ein FDM-Drucker „Dimension SST 1200es“ der t-c-w.de trade center ralph wagner e.K. in Lahr verwendet.

Das 3DP erzeugt Modelle durch den schichtweisen Aufbau und das Verkleben von pulverförmigem Material (Gips und Kunststoff) mit einem flüssigen Binder. Das Pulver dient dabei auch der Abstützung des gedruckten Bauteils und wird im Anschluss mithilfe von Druckluft abgeblasen. Zudem wird das Bauteil mit Zweikomponenten-Kunstharz infiltriert, um die Festigkeit und die Farbbiranz zu erhöhen.

Beim zweiten untersuchten Verfahren, dem FDM, werden Drähte aus Kunststoff mit einer beheizten Düse aufgeschmolzen und in zäher Form aufgetragen. Zusätzlich wird ein zweiter Kunststoff als Unterstützung (Support) eingesetzt, der anschließend in einem Laugenbad entfernt wird.

Versuchsdurchführung

Es wurde mit beiden RP-Verfahren jeweils ein Drosselventil gedruckt (Volumen ca. 124 cm³, siehe Abbildung 4.1-1) und dabei die elektrische Leistungsaufnahme der Maschinen während des Herstellungsprozesses und der anschließenden Nachbearbeitung gemessen. Die Messungen erfolgten mithilfe eines Standby-Energy-Monitors „SEM16 + USB“ der Fa. Nordwestdeutsche Zählerrevision NZR®,

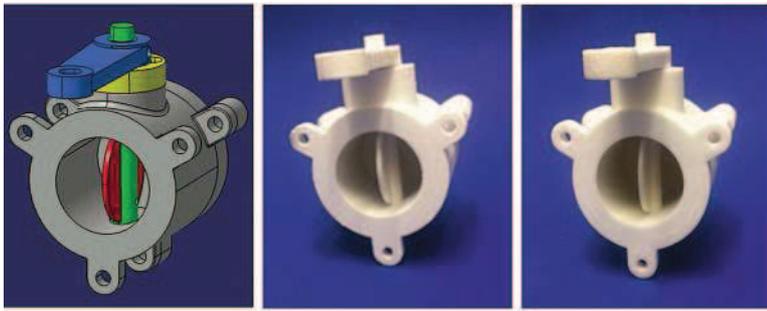


Abb. 4.1-1: Drosselventil als CAD-Modell (links), gedruckt mit 3DP (Mitte) und gedruckt mit FDM (rechts)

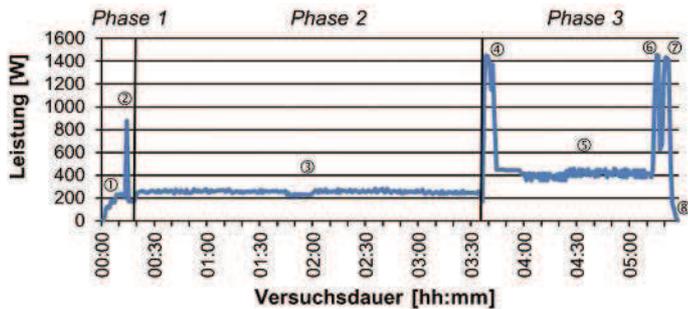


Abb. 4.1-2: Kennlinie der elektrischen Leistungsaufnahme beim 3DP-Verfahren

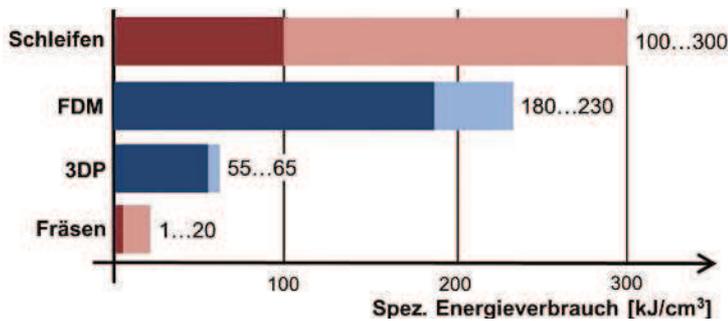


Abb. 4.1-3: Vergleich der spezifischen Energie zum Schichtaufbau bzw. zur Zerspangung [7]

Bad Laer. Als Beispiel ergibt sich beim 3DP das in Abbildung 4.1-2 dargestellte Messdiagramm. Aus dem Diagramm lassen sich die drei wesentlichen Phasen des Herstellungsprozesses und auch besondere Leistungsspeaks erkennen:

Phase 1 – Vorbereitung: Zunächst werden der PC, von dem aus der Druckauftrag gestartet wird, und der 3D-Drucker angeschaltet. Der 3D-Drucker erwärmt sich auf seine Betriebstemperatur (1) und saugt überschüssiges Pulver aus der Druckkammer ab (2).

Phase 2 – Herstellung: Das Bauteil wird Schicht für Schicht gedruckt, und der 3D-Drucker erstellt dabei ein Pulverbett (3).

Phase 3 – Nachbereitung: Der 3D-Drucker saugt überschüssiges Pulver aus der Druckkammer ab (4).

Die gedruckten Bauteile müssen trock-

nen (5). Bei der Entnahme der Bauteile aus dem Pulverbett muss zunächst das lose Pulver manuell abgesaugt werden. Pulverreste bleiben an den Bauteilen haften (6). Diese Pulverreste werden in einer zweiten Baukammer mit einer Druckluftdüse vom Bauteil abgeblasen (7). Der Versuch endet mit dem Ausschalten der Geräte (8).

Versuchsauswertung

Beim 3DP lag der Energieverbrauch bei je nach Ausrichtung des Bauteils im Bauraum zwischen 1860 Wh und 2161 Wh. Dies entspricht einer „Schichtaufbauenergie“ von ca. 55 kJ/cm³ bzw. 65 kJ/cm³. Dabei entfallen bei diesem Beispiel auf die Vorbereitungsphase 4%, auf die Herstellungsphase 44% und auf die Nachbearbeitungsphase 52% des gesamten Energieaufwands. Beim FDM hingegen wurden 7791 Wh zur Herstellung des gleichen Bauteils benötigt. Dies entspricht einer spezifischen Energie zum Schichtaufbau von 180 kJ/

cm³ bzw. 230 kJ/cm³ (in Abhängigkeit vom Volumenanteil des Stützmaterials und des Füllgrads). Die Unterschiede zeigen sich ebenfalls in der stark unterschiedlichen Bearbeitungsdauer von 5 h 38 min beim 3DP im Vergleich zu 11 h 56 min beim FDM. Abbildung 4.1-3 verdeutlicht die benötigte spezifische Energie (bezogen auf das Volumen), wobei als Vergleich zwei konventionelle spanende Fertigungsverfahren angegeben werden. Die in der Literatur angegebenen Werte für die spezifische Zerspangenergie schwanken dabei sehr, da sie durch die Maschineneinstellungen stark beeinflusst werden. [6, 7]

Es wird deutlich, dass das Verfahren FDM wesentlich mehr Strom benötigt als das Verfahren 3DP. Dies lässt sich aus den Verfahrensabläufen erklären. Beim FDM benötigt der Drucker in der Vorbereitungsphase sehr viel Energie, um die Betriebstemperatur des Extrusionskopfs und der Düsen von 270 °C sowie der Baukammer von 70 °C zu erreichen, während der 3D-Drucker beim 3DP eine Betriebstemperatur von lediglich 38 °C benötigt. Die Druckdauer ist vor allem beim FDM sehr stark von der Bauteilgeometrie abhängig. Denn hier fährt die Düse jeden einzelnen Punkt der Schicht ab, wobei zuerst die Kontur und dann die Innenfläche gedruckt wird. Dies bedeutet, dass mit zunehmender Komplexität des Bauteils die Druckdauer und der Energieverbrauch für die Herstellung steigen. Das FDM-Verfahren benötigt zudem Stützen am Bauteil, die nach dem Herstellungsprozess in einem auf etwa 70 °C erwärmten Laugenbad entfernt werden müssen. In der Nachbearbeitungsphase des 3D-Druckers trocknen die Bauteile unter Zufuhr von Wärme innerhalb von 90 Minuten, unabhängig von der Bauteilgeometrie.

Fazit

Der Energieeinsatz kann beim FDM-Verfahren reduziert werden, indem möglichst wenig Stützmaterial verwendet wird (z. B. durch verbesserte Positionierung im Bauraum) oder Kunststoffe mit niedrigerem Schmelzpunkt eingesetzt werden. Zusätzlich kann die Erwärmung der Düsen, der Baukammer und des Laugenbads auf Betriebstemperatur untersucht und unter Umständen effizienter gestaltet werden.

Beim 3DP-Verfahren kann der Energieeinsatz ebenfalls durch die Positionierung

des Bauteils in der Baukammer beeinflusst werden. Zusätzlich könnten die vielen einzelnen elektrischen Komponenten des Druckers wie beispielsweise Motoren, Kompressor oder Heizung auf ihren effizienteren Einsatz untersucht werden. Beim Vergleich der Kosten für die eingesetzten Materialien (Pulver, Bin-

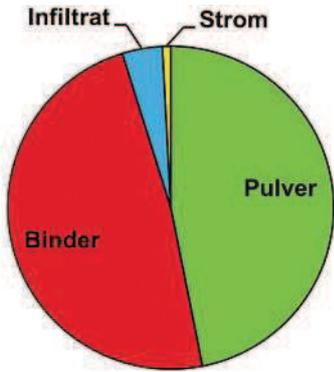


Abb. 4.1-4: Kostenübersicht für Materialien und Strom beim 3D-Druck

der und Infiltrat) sowie dem Strom (siehe Abbildung 4.1-4) für den 3D-Druck fällt auf, dass die Energiekosten marginal (ca.

1% Prozent) sind. Neben der Erhöhung der Energieeffizienz sollten also vielmehr weitere Ansatzpunkte zur Senkung der Materialkosten betrachtet werden.

Dank

Die Versuche zum FDM wurden in Zusammenarbeit mit der Firma t-c-w.de trade center ralph wagner e.K. (www.3D-Prototyp24.de) in Lahr durchgeführt.

Referenzen/References

- [1] Pehnt M.: „Energieeffizienz. Ein Lehr- und Handbuch“, ISBN 978-3-642-14250-5, Springer-Verlag, 2010
- [2] Ziesing H.-J.: „Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2010“, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V., Berlin, 2011
- [3] Gebhardt A.: „Understanding Additive Manufacturing: Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing“, ISBN 978-3-446-42552-1, Carl Hanser Verlag, 2011

- [4] Zäh M.F.: „Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid-Technologien: Anwenderleitfaden zur Auswahl geeigneter Verfahren“, ISBN 978-3-446-22854-2, Carl Hanser Verlag, 2006
- [5] Maier O.: „Untersuchung der Energieeffizienz von Rapid-Prototyping-Anlagen“, Bachelor-Thesis, Hochschule Offenburg, 2011
- [6] Gentzen J.: „Anwendungspotentiale der Verfahren Schleifen, Superfinischen und Glattwalzen“, in Hoffmeister, H.-W. und Tönshoff, H.K. (Hrsg.): „Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren“, Vulkan-Verlag, 2004
- [7] Fraunhofer-Gesellschaft: Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik – Projekte – Produkte, Online im Internet; URL <http://www.iwu.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/ressourceneffiziente-produktion/energieeffiziente-feinbearbeitung.html> [Stand: 23.12.2011]

„Den Laden schmeißen.“

Jetzt beraten lassen!

Jeder Mensch hat etwas, das ihn antreibt.

Wir machen den Weg frei.

Als Bank und Motor des Mittelstandes der Region bieten wir eine Vielzahl von Förderprogrammen, umfangreiche Bilanzanalysen, maßgeschneiderte Finanzierungspläne, innovative Zahlungssysteme sowie individuelle betriebliche Altersvorsorgemodelle an. Nutzen Sie diese Angebote und sprechen Sie mit unseren Finanzexperten. Tel. 0781/800-0. www.volksbank-offenburg.de

Volksbank Offenburg