



Neue Möglichkeiten der Medien- didaktik durch 3D-Druckverfahren

DI Dr. techn. Franz Haas

Fachhochschul-Studiengang Automatisierungstechnik

FH CAMPUS 02, Körblergasse 126, A-8021 Graz

franz.haas@campus02.at

Abstract: *Der Erfolg bei der Vermittlung technischer Inhalte im Hochschulbereich wird wesentlich vom richtigen Medieneinsatz bestimmt. Im Vergleich zu den elektronischen Medien (z.B. Powerpoint, Lernplattformen) hat die Bedeutung des klassischen Lehrmodells eher abgenommen. In diesem Beitrag werden der erfolgreiche Einsatz eines 3D-Farbdruckers in der Lehre anhand von Beispielen dargestellt und allgemeingültige Regeln zur Anwendung und Einführung des Systems abgeleitet.*

Keywords: 3D-Drucker, Mediendidaktik, Rapid Prototyping, Simulation

1. Einführung

In allen Bereichen der technischen Aus- und Weiterbildung, insbesondere an Fachhochschulen und Universitäten, müssen die LektorInnen sich permanent darum bemühen, die Lehrinhalte der technischen Entwicklung anzupassen und neue didaktische Möglichkeiten aufzugreifen.

Die Halbwertszeit des Wissens sinkt ständig und beträgt für typische Hochschulfächer etwa zehn Jahre, in extrem technologieorientierten Disziplinen ist die Situation noch drastischer. Die aktuelle Technologie wird in zahlreichen Branchen in zehn Jahren bereits zu 80 Prozent veraltet sein. Ein weiteres Phänomen unserer Zeit ist der vielbeklagte Mangel an TechnikerInnen, wobei die derzeitige Frühpensionierungswelle im Zuge der Wirtschaftskrise die Situation in kurzer Zeit noch weiter verschärfen wird. Die Initiativen zur Steigerung des Frauenanteils bei technischen Studienrichtungen zeigen auch eher geringe Wirkung.

Eine Ursache für das mangelnde Interesse unserer Jugend für Technik ist meiner Ansicht nach auch darin zu suchen, dass unsere Wegwerfprodukte kompakt, miniaturisiert sowie nicht zerleg- und damit erforschbar sind.

Die genannten Fakten sind gute Gründe dafür, dass neue Methoden und Medien zur Verbesserung der Situation entwickelt werden müssen. Die so genannten Rapid Technologien stellen die idealen Hilfsmittel dar, um die neuesten Trends für die Studierenden „greifbar“ zu machen. 3D-Drucksysteme, die für den Unterricht gestaltete Lehrmodelle und industrielle Produkte als Schnittmodelle in Vollfarbe erzeugen, schaffen wichtige Voraussetzungen, um besonders die Jugend für Technik zu begeistern.

2. Rapid Technologien im Überblick

Als Überbegriff für die schichtweise Fertigung von Bauteilen direkt aus den 3D-Konstruktionsdaten, also ohne Zwischenstufe einer Form oder eines Werkzeuges, hat sich die Bezeichnung „Generative Verfahren“ etabliert. Der Begriff „Rapid Technologien“ betont die kurze Fertigungs- bzw. Durchlaufzeit, schließt jedoch auch andere, nicht generativ arbeitende Verfahren (z.B. das Hochgeschwindigkeitsfräsen) mit ein. Im Folgenden werden die drei wichtigen Einsatzfelder der Rapid Verfahren vorgestellt.

2.1. Rapid Prototyping

Rapid Prototyping steht für die unmittelbare Transformation der Konstruktionsidee in ein Bauteil durch schichtweise arbeitende Verfahren. Für dieses Segment werden jährlich etwa zwei neue oder maßgeblich weiterentwickelte Verfahren vorgestellt, wobei sich derzeit ein Trend zu preisgünstigen Anlagen für Anschauungs- und Kommunikationsmodelle abzeichnet.

2.2. Rapid Tooling

Die Strategie von Rapid Tooling zielt auf die Herstellung von Werkzeugen und Formeinsätzen für den Spritzguss mit Hilfe von generativen Verfahren ab. Komplexe Formeinsätze mit schlanken, dünnen Kavitäten oder speziellen Kühlbohrungen zur Werkzeugtemperierung können durch Lasersintern aus speziellen Metallpulvergemischen wirtschaftlicher hergestellt werden als mit spanenden oder abtragenden Verfahren. Rapid Tooling Projekte zeichnen sich durch die Anwendung von konventionellen und generativen Verfahren aus.

4. Wirtschaftliche Aspekte

Die Entscheidung über den Einsatz einer Rapid Technologie in Lehre und Forschung wird zwangsläufig auch von wirtschaftlichen Fragen beeinflusst. Folgende Voraussetzungen müssen für einen effizienten Einsatz erfüllt sein:

- Komplexe Geometrie der Bauteile
- Notwendigkeit der raschen Auftragsabwicklung
- Große Variantenvielfalt
- Standardmäßiger Einsatz eines 3D-CAD-Systems
- Engagiertes, handwerklich geschicktes Personal

Der Zeit- und damit Kostenvorteil kommt bei komplexen Modellen besonders zum Tragen (siehe Abb. 3).

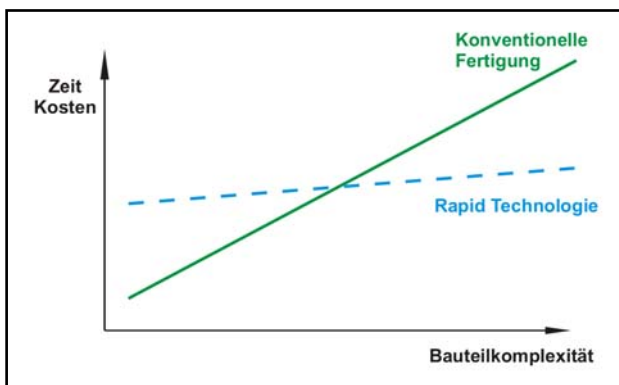


Abb. 3. Einfluss der Bauteilkomplexität auf die Kosten

4.1. Fixkosten

Dazu gehören die Anschaffungskosten (kalkulatorische Abschreibung, kalkulatorische Zinsen) inklusive der maschinennahen Infrastruktur (z.B. Computeranlage, Software usw.). Die sehr kurzen Innovationszyklen bei Generativen Fertigungsanlagen führen zu vergleichsweise hohen Kosten für Instandhaltung und Wartung

4.2. Variable Kosten

Als Hauptfaktor ist das Material zu sehen (Pulver, Binder, Druckköpfe, Infiltrat). Da derzeit noch wenige Anlagen im Einsatz sind und der Kreis der Materialanbieter naturgemäß klein ist, befinden sich die Materialkosten auf hohem Niveau. Am Studiengang Automatisierungstechnik wurde ein Kalkulationsblatt entworfen (siehe Abb. 4), mit dem die Druckkosten direkt aus den Angaben zu Materialverbrauch und Druckzeit der Software „ZPrint“ ermittelt werden können (vgl. Hartner, A., 2009). Nicht zu vernachlässigen sind Energiekosten, da ein 3D-Drucker zur Temperierung des Pulver-Vorratsbehälters rund um die Uhr eingeschaltet sein muss.

Druckzeit:	2,5 h	20	50,00 EUR	
Druckmaterialien:		[€/ml]	[%]	
ZP131 Powder Cartridge	703,99 cm ³	0,062	10	86,42 EUR
ZB61 Clear Binder Cartridge	136,57 ml	0,15	10	22,53 EUR
ZB61 Black Binder Cartridge	17,84 ml	0,185	20	3,96 EUR
ZB61 Yellow Binder Cartridge	23,20 ml	0,25	20	6,96 EUR
ZB61 Magenta Binder Cartridge	17,40 ml	0,25	20	5,22 EUR
ZB61 Cyan Binder Cartridge	19,15 ml	0,25	20	5,75 EUR
ZC6 Wash Fluid Cyanacrylat				
180,84 EUR				

Abb. 4. Kalkulationsblatt für Druckaufträge

5. Prozessablauf

Dieses Kapitel widmet sich den einzelnen Prozessschritten, um von der Idee zum fertigen Lehrmodell zu kommen (siehe Abb. 5). Am Beginn eines Projektes existiert häufig nur eine vage Vorstellung bezüglich des endgültigen Modells. Auch neigen Personen, die mit der Technik weniger vertraut sind, zur Überschätzung der Möglichkeiten des Druckverfahrens. Daher ist eine umfassende Beratung und detaillierte Planung, die die Anforderungen im Unterrichtsbetrieb berücksichtigt, unerlässlich. Wenn eigene CAD-Daten vorhanden sind oder Geometriedaten von Firmen zur Verfügung gestellt werden, können diese über das VRML-Format direkt vom 3D-Drucker verarbeitet werden.

Eine Besonderheit des Verfahrens ist der Vollfarbdruck von Grafiken (z.B. Logos, Beschriftungen), die auf Oberflächen der Volumenkörper projiziert werden können. In der Gestaltung des Layouts sollen Erkenntnisse der Mediendidaktik einfließen (z.B. Größe der Beschriftung, Farbwahl). Während die Farbinformation der Einzelteile in der VRML-Datei gespeichert wird, müssen die Grafiken in der Zusatzsoftware „ZEdit“ auf den Flächen positioniert, in der Größe angepasst und danach projiziert werden. Die einfache Übernahme des modifizierten 3D-Objekts in das Programm „ZPrint“, welches die eigentliche Drucker-Software darstellt, beschließt die vorbereitenden Maßnahmen des Druckprozesses.

Mit „ZPrint“ bestimmt man zuerst die Druckzeit und die erforderlichen Materialmengen. Selbstverständlich kann durch einfache Skalierung das Modell kleiner und damit billiger ausgeführt werden, damit ist jedoch eine geringere Anschaulichkeit verbunden.

Die vorbereitenden Arbeiten umfassen die Säuberung der Anlage (z.B. Bauraum, Reinigungsstation), notwendige Wartungsarbeiten und, falls erforderlich, die Ergänzung von Verbrauchsmaterial. Wenn Druckköpfe getauscht werden müssen, ist ein so genannter „Alignment-Druck“ zu starten. Dabei wird ein spezielles Muster gefertigt und durch ein Kamerasystem vermessen. Bei Abweichungen kompensiert die Maschine die Positionsunterschiede der einzelnen Druckköpfe automatisch.

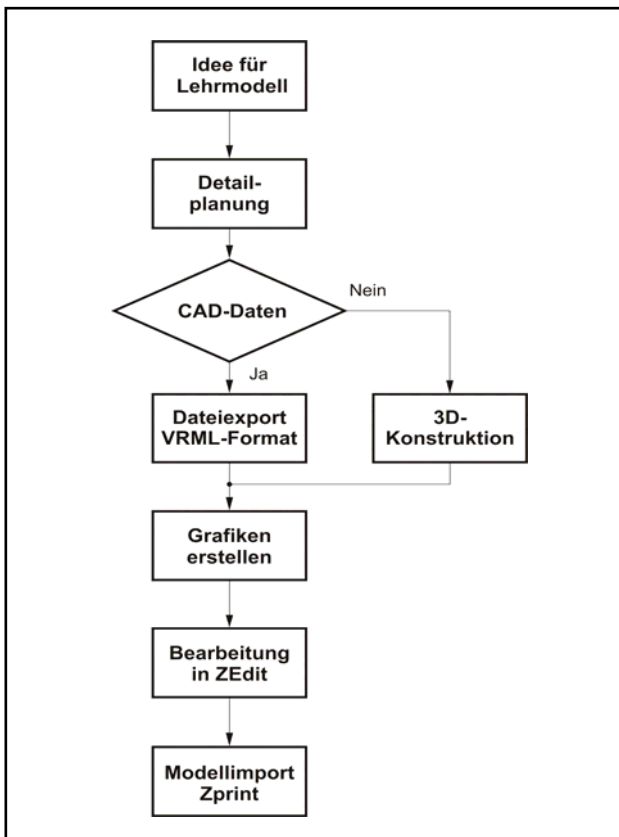


Abb. 5. Generierung der Geometriedaten

Der Bauprozess läuft vollautomatisch ab, es werden zwischen zwei und vier Schichten (Stärke 0,1mm) pro Minute gedruckt. Es kann dabei das gesamte Bauvolumen mit Teilen ausgefüllt werden.

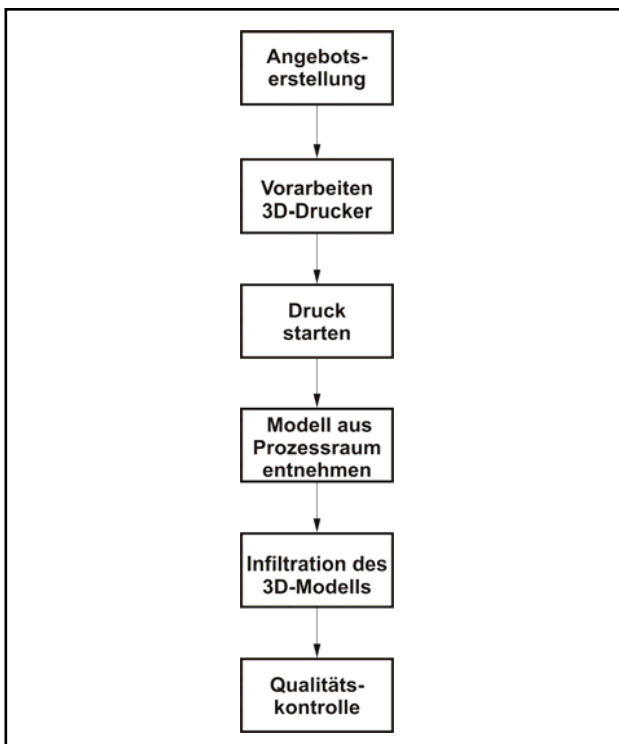


Abb. 6. Druckvorgang und Nachbehandlung des Modells

Nachdem die Bauteile fertig aufgebaut sind, verbleiben sie noch ungefähr zwei Stunden zum Trocknen im Pulverbett, um die Festigkeit zu erhöhen. Das Absaugen und Abblasen des umgebenden bzw. anhaftenden Pulvers muss sehr sorgfältig geschehen, damit die Teile nicht brechen oder die Oberflächen durch den Druckluftstrahl beschädigt werden. Grundsätzlich sollte die Bedienung des Druckers von einer geschulten Person durchgeführt werden. Bei der Infiltration ist ebenso Erfahrung Voraussetzung, vor allem aber müssen die Sicherheitsvorschriften (z.B. Handschuhe, Schutzbrillen) beachtet werden. Den Abschluss des Produktionsvorganges bildet die Überprüfung der Qualität der Modelle.

6. Mediendidaktik

Bei der Unterrichtskonzeption kommt der Auswahl und Gestaltung von Lernmedien eine sehr große Bedeutung zu. Welche Medien wie zum Einsatz kommen, hängt zunächst von der gewählten Methode ab. Allgemein gilt der Grundsatz, dass für einen guten Unterricht der Wechsel zwischen den Methoden unabdingbar ist. Folglich ist Medienwechsel kein Selbstzweck, sondern Voraussetzung für jeden motivierenden Unterricht. Auch wenn ein Medium (z.B. Beamer-Präsentation) genügen würde, ganze Lehrveranstaltungen zu absolvieren, so ist es für die Teilnehmer viel aktivierender und motivierender, wenn mit unterschiedlichen Medien gearbeitet wird. Aktivierung und Motivation bilden die Grundlage für jeden Lernerfolg.

Folgende Fragen sollten für die Medienwahl entscheidend sein:

- Steht der Inhalt oder das Medium im Mittelpunkt?
- Passt das Medium zur Methode?
- Ist die Ausrichtung auf das Lernziel gegeben?
- Motiviert das Medium und ist es attraktiv?

Dreidimensionale Modelle sind an Anschaulichkeit durch kaum ein anderes Medium zu überbieten. Modelle unterstützen vor allem dann den Unterricht, wenn die technische Funktionsweise, die Dynamik des Geschehens oder die räumliche Anordnung im Vordergrund steht. Entscheidend bei Lehrmodellen ist, dass das, worauf es ankommt, tatsächlich durch das Modell wiedergegeben wird. Im anderen Fall wird die Vorstellungskraft der Teilnehmer überfordert. Als Muster werden Originalprodukte bezeichnet, die mit dem Unterricht in Zusammenhang stehen. Modelle und Muster sind durch ihre Anschaulichkeit ein Garant für hohe Aufmerksamkeit der Studierenden und geben den TeilnehmerInnen das sichere Gefühl, praxisnah unterrichtet zu werden (vgl. Meyerhoff, J. & Brühl, C., 2004). Das einfache, detailgetreue Abbilden von Objekten durch den 3D-Druck bietet demnach für die Mediendidaktik eine Fülle neuer Möglichkeiten.

7. Beispiele

Dieses Kapitel zeigt mögliche Einsatzfelder des neuen 3D-Druckverfahrens in Lehre und Forschung auf. Damit ist auch eine Kategorisierung der Modelle verbunden

7.1. Simulationsmodell

Modellbildung und Simulation stellen als Werkzeuge zur Vermittlung technischer Inhalte in unserer Zeit der rasanten Entwicklung der Wissenschaft und Technik eine absolute Notwendigkeit dar (vgl. Hoffmann, J., 2008). Ermöglicht doch die Arbeit mit Simulationswerkzeugen über die rein kognitive Wissensvermittlung hinaus das Verhalten eines Systems bei verschiedenen Parametern oder Einflüssen von außen zu analysieren.

Die Finite-Elemente-Methode (FEM) nimmt unter den Simulationsmethoden in der Technik eine dominierende Stellung ein. Im Maschinenbau werden Bauteile und ganze Baugruppen in ihrem Verhalten unter realer Belastung (Kräfte, Drücke, Temperaturen) berechnet. Das so genannte „Postprocessing“ dient zur Aufbereitung der Ergebnisse, indem beispielsweise die Spannung gemäß einer Farbskala an den einzelnen Knotenpunkten des Körpers dargestellt wird (siehe Abb. 7).



Abb. 7. Modell einer Drahtschere (FEM-Simulation)

7.2. Kinematikmodell - Stirnradverzahnung

Eine weitere Anwendung aus dem Gebiet der Maschinenelemente zeigt die Abbildung 8. Das Modell besteht aus zwei Evolventenzahnrädern, wobei als Besonderheit einige Kenngrößen bemaßt und bezeichnet sind.

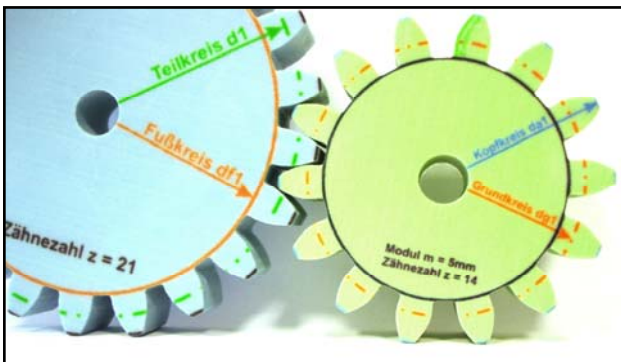


Abb. 8. Modell einer Stirnradverzahnung

Werden die Zahnräder gelagert, können die Bewegung simuliert und Sachverhalte, wie Verzahnungsgesetz, Überdeckungsgrad und Kräfte am Zahnrad anschaulich im Unterricht diskutiert werden.

7.3. Schnittmodell - Wegeventil

Die Abbildung 9 zeigt die Schnittdarstellung eines Hydraulikventils.

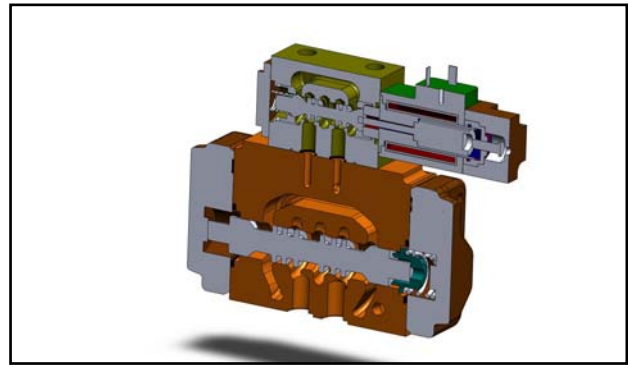


Abb. 9. Schnittdarstellung eines 4/2-Wegeventils

Schnittmodelle besitzen im Vergleich zu Zeichnungen viele Vorteile, weshalb sie sowohl zur Präsentation von Produkten als auch im Unterricht seit vielen Jahren eingesetzt werden. Einerseits hat man die Möglichkeit des „Begreifens“, andererseits eröffnet der Schnitt einen Einblick in den Innenleben des Objekts, damit die Funktion genauer studiert werden kann. Das 4/2-Wegeventil in der Abbildung 9 wurde von einem Studierenden zur Vorbereitung eines Simulationsprojekts gezeichnet und kann unmittelbar ausgedruckt werden. Wird zwischen den beiden Kolben und dem Ventilgehäuse ein Spalt (ca. 0,1 mm) konstruiert, sind die Innenteile beweglich, wodurch die Ventilstellungen anschaulich demonstriert werden können. Bezüglich der Kosten, der Gestalt- und Skalierbarkeit ist der 3D-Druck klar im Vorteil zur herkömmlichen Fertigung. Aktualität und Praxisbezug sind gewährleistet, wenn die CAD-Daten direkt vom Hersteller übernommen werden können.

7.4. Anlagenmodell

Im Gegensatz zu den bisherigen Beispielen steht beim Anlagenmodell nicht das Detail im Vordergrund, vielmehr soll ein Überblick über eine gesamte Anlage gegeben und das Zusammenspiel einzelner Teile zum Ausdruck gebracht werden. Damit steht diese Kategorie in enger Verwandtschaft zum reinen Architekturmodell. Die Abbildung 10 zeigt das 3D-Modell einer großen Biomasse-Heizanlage. Der Anlagenhersteller kann anhand des Modells potentiellen Kunden die Anlage erklären und besitzt die Möglichkeit, aktuelle Projekte in Form eines 3D-Ausdruckes auf Messen vorzustellen. Im Gegensatz zum klassischen Modellbau bietet der 3D-Druck eine kostengünstige Alternative, die eine sehr detailgetreue Wiedergabe ermöglicht.



Abb. 10. Modell einer Biomasse-Heizanlage

Ein weiteres Anwendungsgebiet ergibt sich mit der Layoutplanung von Produktionsstätten. Um die komplexen Abhängigkeiten, die das optimale Layout beeinflussen, zu berücksichtigen wird zunächst von einem sehr abstrakten Modell ausgegangen (vgl. Gäse, T., 2009). Am Ende steht das virtuelle Modell, das mit Hilfe des 3D-Druckverfahrens in ein reales Modell umgesetzt werden kann.

7.5. Lehrmodelle der Naturwissenschaften

In den so genannten Grundlagenfächern (Physik, Chemie, Materialwissenschaften usw.) gibt es ein vergleichsweise großes Angebot an Lehrmodellen. Aber auch in diesem Bereich kann ein maßgeschneidertes Produkt, das die Idee des Lektors optimal umsetzt, auf die Studierenden besonders motivierend wirken. Die Abbildung 11 zeigt einige Elementarzellen von Kristallstrukturen, insbesondere die Verzerrung eines kubisch raumzentrierten Kristallgitters durch ein Fremdatom (Verzerrungsdipol) und die Entstehung des kubisch raumzentrierten Martensitgitters aus dem kubisch flächenzentrierten Gitter als Folge kleiner Verformungen.

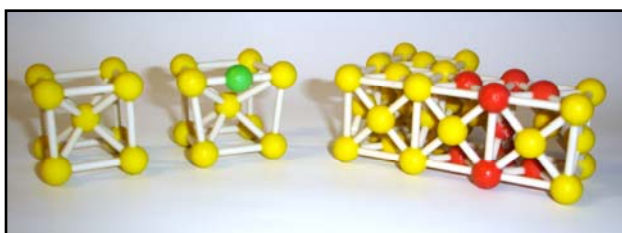


Abb. 11. Elementarzellen von Kristallstrukturen

8. Schlussfolgerungen und Ausblick

Der vorliegende Beitrag ist als Versuch zu verstehen, die Möglichkeiten moderner Rapid Technologien nicht nur für die Produktentwicklung, sondern auch für die Lehre zu nutzen. Damit dies gut gelingt, müssen einige Regeln beachtet werden:

- Es sollte ein Arbeitsteam gebildet und die optimale Nutzung der Modelle geplant werden.
- Die Kosten sind gerade bei größeren Bauteilen unbedingt zu beachten.

- Die Modelle einer Lehrveranstaltung sollten einer gemeinsamen Design-Richtlinie entsprechend konstruiert werden.
- Die Zusammenarbeit mit der Wirtschaft ist anzustreben.

Das Ziel aller Bemühungen zur Verbesserung der Qualität der Ausbildung sollte die bestmögliche Förderung der Kreativität unserer Studierenden sein. Denn nur gute Ideen und deren erfolgreiche Umsetzung in Produkte sichern Arbeitsplätze und schaffen Zufriedenheit in den Arbeitswelten unserer Gesellschaft.

9. Referenzen

- Gäse, T. (2009). Detaillierungsstufen in der Layoutplanung. *Innovationsforum Digitale Fabrik*, S. 104-106, Westsächsische Hochschule Zwickau, ISSN 1863-1916
- Gebhart, A. (2007). *Generative Fertigungsverfahren*, Hanser Verlag, S. 50-55, ISBN 3446226664, München
- Hartner, A. (2009). *Einsatzkonzept eines 3D-Druckers am Studiengang Automatisierungstechnik*, Diplomarbeit FH CAMPUS 02, S. 70-71, Graz
- Hoffmann, J. (2008). Durch Modellbildung und Simulation technische Sachverhalte nachhaltig vermitteln. *Neues Handbuch Hochschullehre*, S. 2-4, RAABE Fachverlag, Berlin
- Meyerhoff, J. & Brühl, C. (2004). *Fachwissen lebendig vermitteln*, Rosenberger Fachverlag, S. 30-37 ISBN 3-931085-46-5, Leonberg