Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Entwicklung von Vorrichtungen und Verfahren zum Einsatz von unterschiedlichen BioPlastics für die Rapid Prototyping Technologie - FABIO - (FAbrication of parts with BIOplastics)

Zuwendungsempfänger:

Hochschule Merseburg

Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

Förderkennzeichen:

07NR076 bzw. **22007607**

Laufzeit:

01.11.2010 bis **31.10.2013**

01.11.2013 bis **30.04.2014** (kostenneutrale Verlängerung)

Datum der Veröffentlichung:

17.10.2014

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMELV für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis

Literaturangaben

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung.....3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....3
3. Planung und Ablauf des Vorhabens.....4
4. Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand.....5
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....6

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung, Ergebnisse.....6
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....25
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....25
4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses.....25
5. Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....25
6. Veröffentlichung der Ergebnisse.....26

Anhang

Erfolgskontrollbericht

Berichtsblatt

Kurzfassung

Abkürzungsverzeichnis

3D-Druck	3 dimensionaler Druck
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
CIM	Ceramic Injection Molding
DSC	Differenzial scanning calometrie
FABIO	Fabication of prototyps with Bioplastics
FBZ	Forschungs- und Beratungszentrum e.V. (An-Institut der Hochschule)
FEP	Fused Extrusion Prototyping
G-Code	Maschinencode
IfBB	Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe
IKS	Fachbereich Informatik und Kommunikationssysteme
INW	Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften
KAT	Kompetenzzentrum für angewandte und transferorientierte Forschung
MFI	Melt Flow Index
MFR	Melt Flow Rate
MIM	Metal Injection Molding
NFK	Naturfaserverstärkte Kunststoffe
PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PIM	Pulver Injektion Molding
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PSP	Photosensitive Polymerisation
RP	Rapid Prototyping
SLA	Stereolithographie Apparatus
SLS	Selective Laser Sintering
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TPU	Thermoplastisches Polyurethan
TPS	Thermoplastische Stärke
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
WPC	Wood Plastic Compound

Literaturangaben

- Andreas Gebhardt, Generative Fertigungsverfahren, Hanser Verlag, Auflage 3, 2007
- Georg Menges, Werkstoffkunde Kunststoffe, Hanser Verlag Auflage 5, 2002
- Hans Domininghaus, Fortschrittliche Extrudertechnik, VDI-Verlag, 1970
- Janis Breuninger, Ralf Becker, Andreas Wolf, Steve Rommel, Alexander Verl, Generative Fertigung mit Kunststoffen, Springer Verlag, 2013
- Gerhard Schenkel, Kunststoff-Extrudertechnik, Carl Hanser Verlag, 1963
- Paulo Bartolo, Bopaya Bidanda, Bio-Materials and Prototyping, Applications in Medicine, Springer Science+Business Media, LLC, 2008
- Karl Oberbach, Saechtling – Kunststoff Taschenbuch, Carl Hanser Verlag, Ausgabe 26, 1995
- Karlheinz Biederbick, Kamprath-Reihe Technik, Kunststoffe, Vogel-Buchverlag, 4. Auflage, 1977
- Hellerich, Harsch, Haenle, Werkstoffführer Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, 3. Auflage, 1983
- Thomas G. Mezger, Das Rheologie Handbuch, Vincentz Network, 2. Auflage, 2006
- M. Pahl, W. Gleiße, H-M. Laun; Praktische Rheologie der Kunststoffe und Elastomere,

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Im Mittelpunkt des Forschungsprojektes stand die Entwicklung von Verfahren und Vorrichtungen, um unterschiedliche BioPlastics mit Rapid Prototyping (RP) Technologien zu verarbeiten.
Die Aufgabenstellung umfasste die Entwicklung eines thermoplastischen Verfahrens, FEP (Fused Extrusion Prototyping), eines duromeren Verfahrens mit photosensitiven Harzen, PSP (PhotoSensitive Polymerisation) und die Materialanpassung für das bekannte Verfahren SLS (Selective Laser Sintering). Mit FABIO (**FA**brication of prototyps with **BIO**Plastics) sollen die nativen Ausgangsformen wie Pulver und Granulat direkt zum Einsatz kommen, ebenso wie fotosensitive Duromere auf Leinölbasis.
Herzstück des FEP Verfahrens ist die Plastifiziereinheit, die auch die Möglichkeit der Compoundierung und Einarbeitung von Verstärkungen integriert. Durch den Einsatz photosensitiver Duromere auf Leinölbasis wird das Material- und Verfahrensspektrum beachtlich erweitert. Mit der Anschaffung einer gebrauchten Sinteranlage und die damit verbundene Adaption von BioPlastics auf bereits am Markt befindliche Anlagen, wird das Leistungsangebot erweitert, die Verbreitung der BioPlastics erhöht.
Der Einsatz von „Grünen Rohstoffen“ stützt sich in diesem Projekt nicht auf die Bioabbaubarkeit von Produkten, sondern liegt in der Entwicklung, der Herstellung und dem Testen technischer Bauteile aus Biokunststoffen. Fossile Rohstoffe werden durch nachwachsende Werkstoffe ersetzt.
Nach erfolgreicher Umsetzung der Forschungsaufgaben ist eine Dienstleistungs-Plattform für Rapid Prototyping als „Spin off“ geplant, um den BioPlastics nachhaltige Anwendungsgebiete zu erschließen.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben konnte durch eine erfolgreiche Bewerbung beim Projektträger des BMEL (vormals BMELV) der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. im Förderschwerpunkt „Biobasierte Polymere und biobasierte Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK)“ durchgeführt werden. Durch die Zuwendung wurde eine Bearbeitung erst ermöglicht.

Die anerkannten Kompetenzen an der Hochschule Merseburg im Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften, Lehrgebiet Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik und die langjährigen Erfahrungen im Bereich Rapid Prototyping (RP) trugen hauptsächlich zur Beantragung des Projektes bei. Seit 2009 werden Lehrveranstaltungen zum Thema Rapid Prototyping im Masterstudiengang angeboten. Verschiedene Projekte konnten unter Anwendung der hochschuleigenen Rapid Prototyping Technologien durchgeführt werden.

Die etablierten RP Technologien sind in ihrer Materialauswahl sehr eingeschränkt und überaus kostenintensiv. Der steigende Einsatz von Kunststoffen in allen Bereichen des täglichen Lebens und die „Wiederentdeckung“ der Biokunststoffe waren Kriterien, die die Anregung zur Entwicklung eines neuen RP- Verfahrens gaben, welches native Kunststoffgranulate aus nachwachsenden Rohstoffen verarbeiten kann.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Bei der Planung wurde die Bearbeitung des Forschungsvorhabens in drei Schwerpunkte unterteilt.

1. Entwicklung des RP-Verfahrens Fused Extrusion Prototyping (FEP) zur Verarbeitung thermoplastischer biobasierter Kunststoffe in Granulatform
2. Adaption von BioPlastics in Pulverform auf gebräuchliche Sinteranlagen
3. Verfahrensentwicklung zur Verarbeitung von photosensitiven duromeren Biokunststoffen

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind in der Planung folgende Aufgaben für die Schwerpunkte festgelegt worden.

Tätigkeiten	Inhaltliche Bemerkungen
Konzeption, Koordination, Planung, Betreuung	Verfahren definieren, Verfahrensschritte erarbeiten, Konstruktionsschritte festlegen, Koordinierung Forschungsprojekt und Mitarbeiter, Versuchsplanung, Betreuung von studentischen Hilfskräfte
Konstruktion, Bau der Vorrichtungen	Entwurf, Konstruktion und Herstellung der Vorrichtungen und Systemkomponenten, Austesten und Anpassen der Funktionen, Herstellung der Gesamtvorrichtung incl. Peripherie und der CNC-Verfahreinheiten
Softwareentwicklung	Entwicklung der Software zur Datenaufbereitung und Steuerung der Anlage, Testläufe und Anpassung der Parameter
BioPlastics Materialuntersuchungen	Selektieren, Ordern, Eigenschaftbestimmungen, Charakterisierung des Fließverhaltens der Biokunststoffe Versuche mit verschiedenen BioPlastics
Untersuchen/Prüfen - Bioplastics	Formulieren der Untersuchungshypothesen, Festlegen der Verarbeitungsparameter, Erstellen und Durchführen von Versuchsprogrammen, Diskussion und Auswertung der Versuchsergebnisse, Herstellung von Probekörpern, Bestimmung der notwendigen Daten/Erfassung und Auswertung der erhaltenen Ergebnisse
Entwicklung Supportmaterial	Entwicklung von Supportmaterialien auf der Basis von Biowerkstoffen zum Bau von komplexen Bauteilen als Stützkonstruktion, Aufbereitung, Auswertung und Diskussion der Ergebnisse in Zusammenarbeit mit der Hochschule Magdeburg-Stendal
Prototypenerstellung aus BioPlastics	In Zusammenarbeit mit den Designern, Umsetzung der Ideen und Datensätze zu Modellen bzw. Prototypen, Prüfung der Werkstoffe und Modelle auf Tauglichkeit, Rücksprache mit Designern über Veränderungen, Beratung bei der Umsetzung zum Serienteil, Informationsaustausch mit den unterstützenden Unternehmen
Unternehmenskontakte	Zusammenarbeit mit Partnern
Messebesuche, Tagungen, Workshops	Recherchen zu neuesten Erkenntnissen und Entwicklungen nach wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten, Informationsaustausch, Stand der Technik
Zwischenstände, Auswertung	Koordinierung der Teilaufgaben, Versuchsplanung, Begleitende Literatur- und Patentrecherche, Diskussion, Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse, wirtschaftswissenschaftliche Gesamtbetrachtung
Projektdokumentation	Dokumentation bei der Bearbeitung der Schwerpunkte

Tabelle 1: Aufgabenplanung

Verschiedene Gründe haben dazu geführt, dass **Schwerpunkt 1** während des Bearbeitungszeitraumes immer mehr in den Fokus rückte.

Für die Bearbeitung des **Schwerpunktes 2** sollte eine gebrauchte Sinteranlage gekauft werden. Der Erwerb dieser Anlage scheiterte. Die Anschaffung war im Antrag enthalten. Vor dem Kauf stellte sich eine nötige, umfassende Überholung heraus, die mit den 4 bis 5-fachen Kosten verbunden war und mit den vom Zuwendungsgeber bereitgestellten Mitteln nicht durchzuführen gewesen wäre. Die Beschaffung von Biokunststoffen in Pulverform gestaltete sich schwierig. Pulver werden mit hohem technologischen und energetischen Aufwand gemahlen und dadurch sehr kostenintensiv (Mahlkosten für 1kg ca. 600 €). Zusätzlich wird die Struktur durch den Mahlvorgang geschädigt. Ein weiterer wesentlicher Grund für die Einstellung des Schwerpunktes 2 war, dass große Pulvermengen bevorratet werden müssen (min. 8 kg). Dies hätte für einen Materialversuch Kosten in Höhe von 4800 € bedeutet.

Der **Schwerpunkt 3**, die Verfahrensentwicklung zur Verarbeitung von photosensitiven duromeren Biokunststoffen wurde anfangs zurückgestellt und konnte im Bearbeitungszeitraum nicht wieder aktiviert werden. Generell ist festzustellen, dass die SLA-Anlagen eine hohe Materialbevorratung benötigen. Daher werden den photosensitiven Polymeren auf Basis nachwachsender Rohstoffe keine großen Markchancen eingeräumt und von den Herstellern nicht angeboten.

Während der Projektlaufzeit wurde entschieden, die biobasierten Thermoplaste, ausschließlich im FEP Verfahren zu verarbeiten.

Auf die Ergebnisse wird in Punkt II. 1. im Schlussbericht näher eingegangen.

4. Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Schnell verfügbare Prototypenteile werden heute in allen Bereichen benötigt und sind für den Produktentwicklungsprozess unerlässlich. Das Verfahren zur Herstellung von Prototypen wird vom Produktdesigner ausgewählt und ist von verschiedenen Kriterien abhängig. Faktoren wie Oberfläche, Farbe, Passform oder mechanische Eigenschaften sind oft Material abhängig. Die Materialauswahl in den bekannten RP Verfahren ist begrenzt, weil die Werkstoffe an die Verfahren angepasst werden müssen. Die FABIO Technologie geht einen anderen Weg. Hierbei wird das Verfahren an das Material angepasst und bietet dadurch erstmals freie Auswahl aus allen thermoplastischen Granulaten. Durch dieses Alleinstellungsmerkmal werden enorme Wettbewerbsvorteile geschaffen.

Die Studie „3D Printing – Risks and Opportunities“ des Öko-Instituts zeigt, dass die Umwelt in der Zukunft durch Materialeinsparungen, bedingt durch materialsparendes Design und ressourceneffiziente Herstellung der Produkte, vom 3D-Druck profitieren kann. (*Quelle: Maschinenmarkt, 07.03.2014)*

Während der Projektlaufzeit wurden Patentrecherchen, auch über die ESA Patentverwertungsgesellschaft Sachsen-Anhalt, durchgeführt. Auf bekannte Verfahren und Schutzrechte konnte nicht zurückgegriffen werden, da FABIO eine komplette Neuauflegung im Bereich Rapid Prototyping ist.

Benutzte Informations- und Dokumentationsdienste:
Biopolymerdatenbank des IfBB Hannover (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)
Biopolymerplattform
Biokunststoff Produktdatenbank

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Hochschule Magdeburg-Stendal unterstützte die Forschungsarbeiten im Bereich der Entwicklung und Untersuchung von Supportmaterialen aus Biokunststoffen. Verschiedene Recherchen und Tests wurden durchgeführt und der Einsatz eines stärkebasierten Polymers wird fokussiert.

Die Verbindungen zu Designern gestalteten sich positiv und gaben immer neue Anregungen. Verschiedene Ideen werden mit dem neuen Verfahren, nach erfolgreicher Fertigstellung, noch umgesetzt werden.

Industriepartner, die sich finanziell beteiligt haben, waren Volkswagen AG, Wolfsburg und Wesselwerk, Wildbergerhütte.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung, Ergebnisse

Verwendung

Die Zuwendung wurde für Personalkosten (Projektmitarbeiter und studentische Hilfskräfte, zur Bearbeitung des Projektes), für technisches Equipment (Investitionen über 410 €), Vergabe von Aufträgen und sächliche Verwaltungsausgaben verwendet. Der Hauptanteil betraf mit ca. 66% die Personalausgaben.
Verschiedene Faktoren erforderten die Umwidmung einiger Positionen.

- Durch Tariferhöhungen im Zeitraum der Beantragung reichten die beantragten Personalkosten zur Beschäftigung eines Softwareentwicklers nicht aus. Es wurde entschieden Software zuzukaufen. Die Umwidmung wurde von Pos. 0812 zu Pos. 0840 in Höhe von 23.000 € beantragt (Jan 2011).
- Personalkosten Pos. 0812 wurden umgewidmet zu Pos. 0817, zur Beschäftigung eines Mechanikers in Entgeltstufe E6 in Höhe von 12.581,88 € (Jan 2011).
- Probleme bei der Neubesetzung der Stelle des Mechanikers und der erhöhte Forschungsbedarf zur Entwicklung einer Versuchsanlage führten zu kostenneutralen Umwidmungen der Pos. 0817 auf Pos. 0812 für die Aufstockung der Stelle bzw. Weiterbeschäftigung des Konstrukteurs (Dez 2011/Sept 2012).

Insgesamt wird eingeschätzt, dass die Personalausgaben für den Umfang des Projektes zu knapp beantragt wurden, auch um den erhöhten Forschungsaufwand durch weiteres Personal zu kompensieren. Tariferhöhungen beeinflussten diesen Umstand noch.
Die personelle und finanzielle Planung erfolgte mit Verantwortungsbewusstsein. Trotz aller Anstrengungen enthüllt die Darstellung des Ist-Standes ein anderes Bild. Desweiteren führten gesundheitliche Probleme zu einem längeren Ausfall des Projektleiters. Wie auch bei großen Vorhaben in der Wirtschaft immer wieder vorkommt, wurde auch bei diesem Vorhaben das ursprüngliche Kostenbudget zu niedrig angesetzt.

Ergebnisse

Biokunststoffe

Zu Beginn des Vorhabens erfolgten Recherchen zu den einzusetzenden Biokunststoffen. Kunststoffhersteller, die sich auf die Fertigung von Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen spezialisiert haben, wurden kontaktiert oder auf Messen angesprochen. Die Resonanz war sehr gut. Es wurden verschiedene Granulate für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt.

Neue Anwendungsmöglichkeiten für biobasierte Polymere tragen zur Produktions- und Umsatzsteigerung der Hersteller bei. Die Nachhaltigkeit der grünen Produkte, die fossile Ressourcen schonen und zum Umweltschutz beitragen, wird erkannt. Die Wachstumspotenziale im Werkstoffbereich und die Umsetzung in technisch hochwertige Produkte bieten die Chance, innovative Technologien, Verfahren und Erzeugnisse am Markt zu positionieren.

Rheologische Untersuchungen zum Fließverhalten der Werkstoffe wurden durchgeführt. Die Materialkennwerte wurden u.a. für die Festlegung der erforderlichen Schneckengeometrie, die Abmessung der Austragsdüse aber auch für die Temperaturführung benötigt. Die Differenzkalorimetrie (DSC - differential scanning calorimetry) ist wegen seiner Vielseitigkeit und Aussagekraft die am häufigsten eingesetzte Thermoanalysenmethode bei Polymeren und wird überwiegend zur Charakterisierung des Phasenverhaltens der Probe verwendet. Mit den DSC-Analysen konnten Schmelzpunkt und Glasübergangstemperatur von verschiedenen Biokunststoffen interdisziplinär an der Hochschule bestimmt werden. Der Schmelzfließindex (engl. MFI = Melt Flow Index oder MFR = Melt Flow Rate) wurde zur Charakterisierung des Fließverhaltens (Formmassenprüfung) der biobasierten thermoplastischen Werkstoffe unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen bestimmt. Der MFI ist das Maß für die Viskosität der Kunststoffschmelze, aus dem auf den Polymerisationsgrad, also auf die mittlere Anzahl von Monomereinheiten in einem Molekül, geschlossen wird. Er gibt die Masse von Polymerschmelze an, die unter Normbedingungen in einer bestimmten Zeit durch eine Düse gedrückt wird.

Wie schon in Punkt I.3 erläutert, sind Biokunststoffe in Pulverform sehr kostenintensiv. Analysen zu diesen Materialien wurden daher nicht erstellt.

Plastifiziereinheit

Ein Schritte zur Entwicklung des FEP Verfahrens war eine spezielle Plastifiziereinheit mit sehr geringem Ausstoß. Die Plastifiziereinheit unterscheidet sich dabei grundlegend von den klassischen Extrusionseinheiten. Die Größe der Schnecke und die Austragsmengen charakterisieren dabei den Aufbau der Einheit. So kleine Extrudiersysteme sind am Markt nicht erhältlich. Die Bachelorarbeit mit dem Thema „Entwickeln, Konstruieren und Bau einer Schmelzaufbereitung und –förderung von nativen Granulaten für eine Rapid Prototyping Anlage“ unterstützte die Entwicklungsarbeiten. Nach den theoretischen Betrachtungen erfolgten die Konstruktion, die Auswahl der Komponenten und der Bau der ersten Plastifiziereinheit. Die ersten Versuche mit Granulat konnten im August 2011 mit Extruderversion 1, siehe Abbildung 1, durchgeführt werden. Ein Kunststoffstrang wurde ausgetragen und damit der Nachweis der Machbarkeit erbracht. Die Extrudereinheit war im Aufbau noch nicht vollkommen. Für die Optimierung des Extruderaufbaus sollte eine Simulationssoftware zur Auslegung von Einschneckenextrudern der Firma AgfISS, Agentur für Industrie-Software und Services, die Berechnung der Zonen und Schneckengeometrie übernehmen. Diese erwies sich aber als nicht

geeignet. Die geforderten Eingaben (Minimalst-Abmessung) bezüglich der Schneckenlänge und Geometrie führte das Programm an seine Grenzen.
Es mussten eigene Überlegungen zur Bestückung der Extrudereinheit, zur Förderung des Granulates, zum Schneckenzylinder, zur Schneckengeometrie, zu Heizung, Kühlung und zur Austrittsdüse angestellt werden.

Bei den Kunststoffen gibt es drei Zustandsbereiche, fest (im Abbildung 2 unten grau gezeichnet), elastisch (im Bild blau) und plastisch (rot). Nur im plastischen Zustand ist eine Urformung möglich.

Beim FDM Prinzip, Austrag eines Filaments durch eine Düse, wird eine Abdichtung durch das Nachdrücken des Kunststoffdrahtes erreicht. Bei der Förderung des Granulates durch eine Schnecke dagegen, kann es bei unzureichender Prozessführung zu einem Rückfluss der Schmelze, entgegen der Förderrichtung, kommen. Dies musste auch in den einzelnen Zonen konstruktiv berücksichtigt werden. Die Abbildung 2 zeigt das Zustandsdiagramm von Thermoplasten im festen, elastischen und plastischen Bereich. Es stellt den Ablauf in einer Schnecke, unter Einsatz von Granulat, im Vergleich zur Arbeit mit Filament, dar.

Abbildung 1: Extruderversion 1

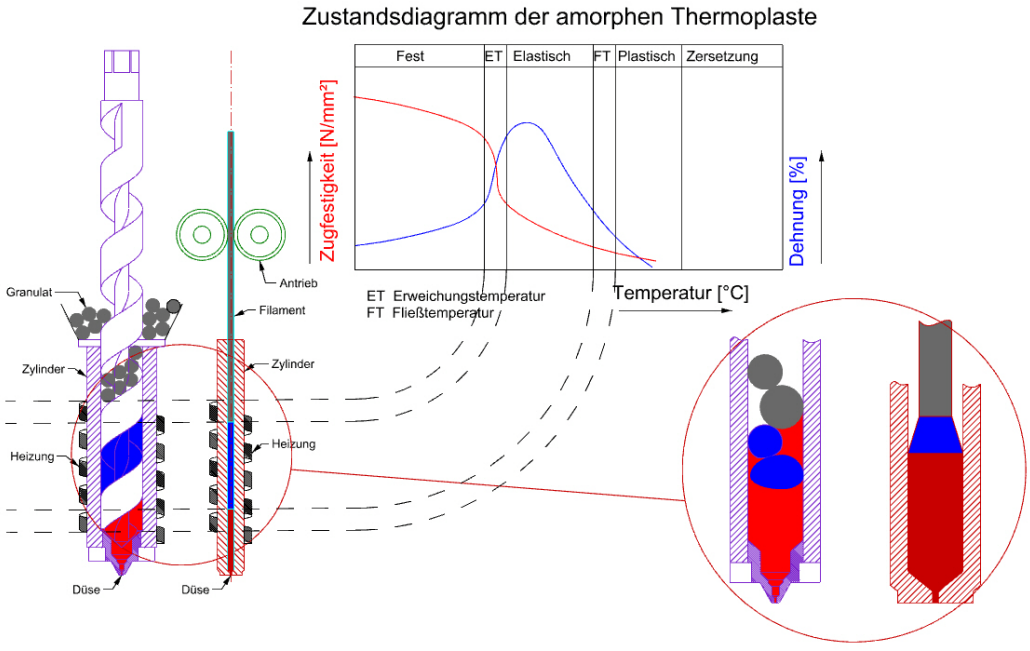


Abbildung 2: Zustandsdiagramm und Vergleich Austrag Granulat und Filament

Mit der Extruderversion 1 war es nicht möglich alle Korngrößen einzuziehen. Es musste u.a. beachtet werden, dass die Schüttdichte von der Größe der Kunststoffgranulate abhängig ist. Die mittlere Korngröße der einzusetzenden Granulate wurde bestimmt und daraus die Schüttdichte ermittelt. Aus den Schüttdichtewerten und der Dichte wurde die Porosität der Schüttung errechnet. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht zu den an der Hochschule vorhandenen thermoplastischen Biokunststoffen. Diese Werte mussten bei der Neukonzipierung der ganzen Plastifiziereinheit, des Einzugsbereiches und der Schneckengeometrie beachtet werden.

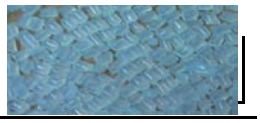
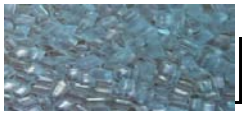
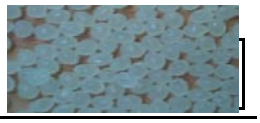
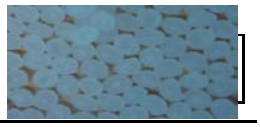
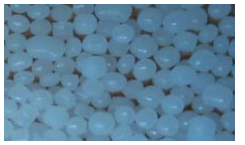
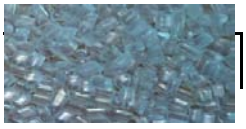
BIO-Kunststoff	Form, Farbe Oberfläche	Abmessungen [mm]		Schütt-dichte	Porosität	Fotos
		Länge	Durchmesser	[g/cm³]	[%]	
Akromid (PA)	- zylindrisch - milchig - glänzend	3,5	2,48	1,26	16,6	
Vestamid (PA**)**	- zylindrisch - transparent - glänzend	3,56	2,2	1,12	3,6	
BioFlex F6510 (PLA)	- tropfenförmig - elfenbein - glänzend	4,02	3,12	1,66	21,7	
PLA 2003	- rund - milchig - glänzend	3,92	4,02	1,55	20	
Cereplast 1010 (PLA)	- zylindrisch - hellgrau - glatt	3,66	2,7	1,5	12,7	
PLA 6202	- rund - milchig - glatt	4,22	4,02	1,48	16,2	
BLF02 (Stärke)	- zylindrisch - matt gelb - glatt	3,36	3,58	1,32	10,6	
PE SHA 7260	- rund - zylindrisch - milchig - glänzend	6,3	3,62 4,4	1,14	16,2	
PHB 209	- zylindrisch - glatt	2,28	3,52	1,29	7	
PEARL-THANE ECO (TPU)	- tropfenförmig - klar - glatt	4,28	2,54	1,25	8	

Tabelle 2: Bio-Kunststoffe, Korngrößen, Schüttdichte, Porosität

Eine Reihe von Versuchen erfolgte mit der Extruderversion 1, bei denen verschiedene Einstellungen getestet wurden. Als variable Parameter wurden die Temperatur und der Austrag verändert, um eine optimale Aufschmelzung und einen gleichmäßigen Ausstoß an Material zu erreichen.

In den Abbildungen 3, 4 und 5 sind Diagramme aus drei Versuchen mit Polypropylen abgebildet, welche die Austragsmasse über der Zeit veranschaulicht. Die Messungen wurden bei einer Temperatur von 200 °C durchgeführt, die Proben pro Minute genommen und gewogen. Als variable Größe wurde hier die Spannung verändert.

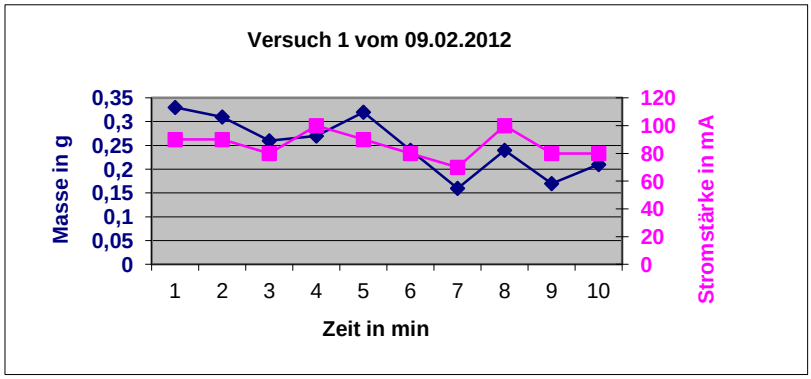


Abbildung 3: Versuch 1

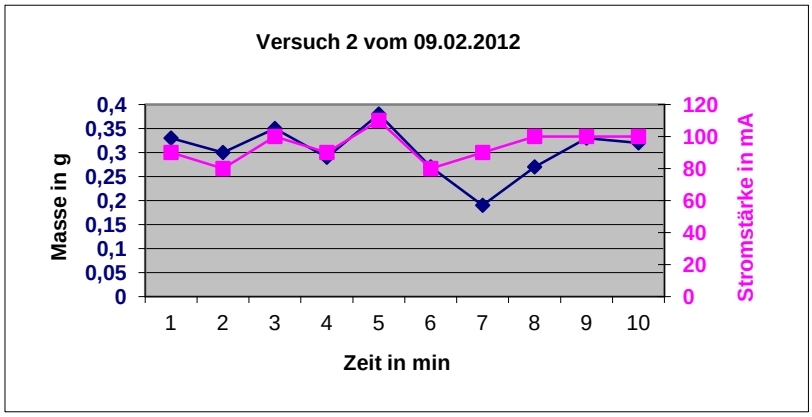


Abbildung 4: Versuch 2

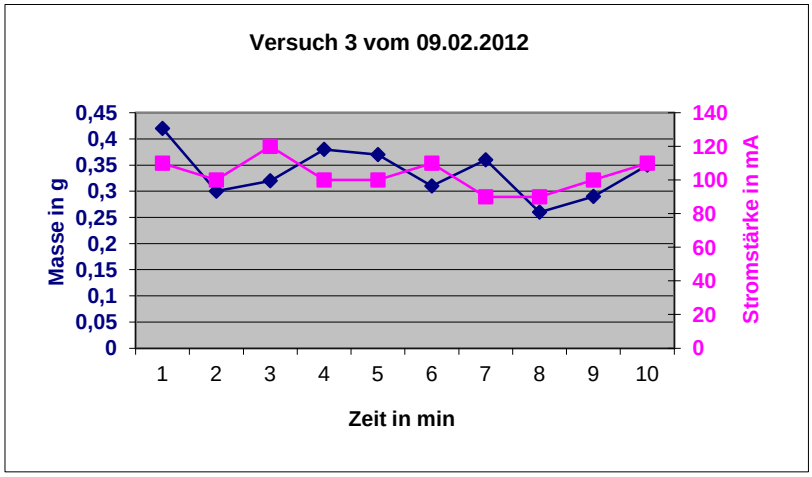


Abbildung 5: Versuch 3

In Versuch 1 wurde mit einer Spannung von 14 V, in Versuch 2 mit 15 V und in Versuch 3 mit 16 V getestet. Mit steigender Spannung und dadurch bedingt steigender Drehzahl der Schnecke (10,5 bis

13,4 U/min) wurde der Masseausstoß um ca. 70 % erhöht. Das zeigt auf, wie sensibel der Prozess bei kleinsten Veränderungen reagiert. Die Schwankungen der Austragsmasse pro Minute sind auf die noch nicht optimierte Prozessstabilität zurückzuführen. Es wurde festgestellt, dass bei diesem Versuchsaufbau große Temperaturschwankungen auftraten, was auf eine nicht ausreichende Isolierung der Heizelemente zurückzuführen ist.

Das FEP Verfahren leitet sich vom FDM Verfahren ab. Hierbei wird ein Filament durch einen beheizten Zylinder gedrückt und ausgetragen. Beim FEP wird anstelle eines thermoplastischen Filaments natives Granulat verwendet. Über die Vorteile wurde bereits berichtet. Gegenüber dem Filamentverfahren wirken sich folgende Punkte nachteilig aus. Das Volumen im plastischen, aufgeschmolzenen Bereich ist mit 1262 mm³ wesentlich Größer als die 48 mm³ im FDM Verfahren (siehe Abbildung 2, Zustandsdiagramm, Seite 8). Dies hat zur Folge, dass beim Verfahren zwischen den Spuren Material austreten kann, d.h. die Düse "tropft". Um ein Tropfen zu verhindern, wird beim FDM der Strang ein wenig zurückgezogen. Dies geht beim FEP nicht oder nur bedingt, da dann die Schmelze noch oben befördert, eine weitere Extrusion behindert und im Extremfall sogar verhindert wird. Wenn Material während dem Spurwechsel ausgetreten ist, fehlt dieses wieder beim Anfahren. Diese Problematik muss noch gelöst werden. Ferner wirkt sich nachteilig aus, dass keine bzw. nur eine geringe Scherwirkung bzw. nur ein geringer Druck über die Schnecke aufgebracht werden kann. Bei leichtfließenden Materialen ist dies nicht von Bedeutung, hochviskose Materialien dagegen bereiten hier doch größere Probleme. Steigt der Druck vor der Düse zu stark an oder wird die Schneckendrehzahl zu stark erhöht, findet eine Rückströmung über den elastischen in den festen Bereich statt. Dies führt unweigerlich zum Stillstand der Förderung, der Prozess muss abgebrochen werden und die Anlage muss gereinigt werden.
Wie in der Abbildung 6 zu sehen, ist die Extruderleistung von der Viskosität abhängig. Bei Kunststoffen mit hoher Viskosität nimmt die Leistung des Extruders ab.

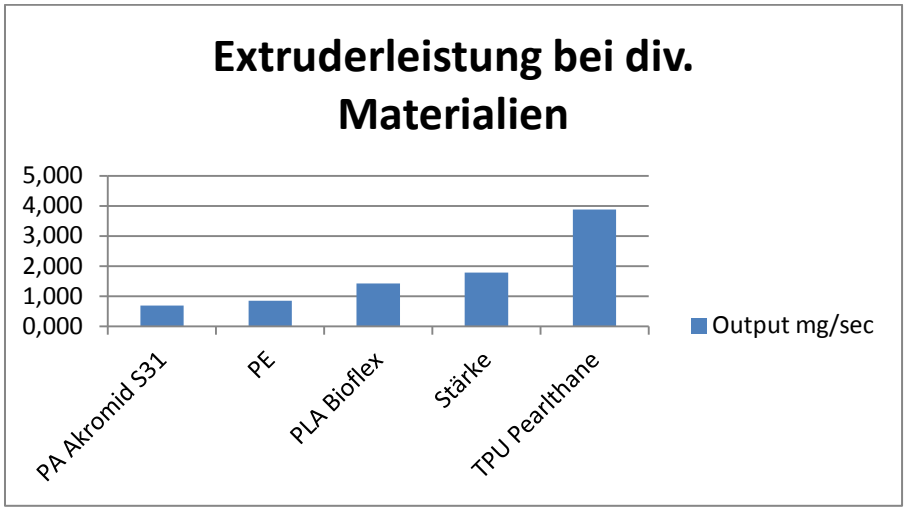


Abbildung 6 : Extruderleistung in Abhängigkeit von der Viskosität

	FEP	Lösung für FEP	FDM
Thermoplaste	+++		+++
natives Granulat	+++		---
Druckaufbau	---	Extruderneukonstruktion	+++
Schmelzevolumen	---	---	+++
Rückzug/Vorlauf	---	Extruderneukonstruktion	+++
Tropfen	---	Extruderneukonstruktion	+++

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Verfahren FEP und FDM

Das Thema einer Masterarbeit war die „Entwicklung, Konstruktion und Bau einer Versuchseinrichtung als Basis für eine Rapid Prototyping Anlage zur Herstellung von Prototypen aus biobasierten Polymeren“ Es wurde ein neues Konzept zur generativen Herstellung von Modellen aus biobasierten Polymeren auf Grundlage des FDM Verfahrens erarbeitet. Die Betrachtungen zur Schneckenplastifizierung allgemein, zum Materialspektrum, zur Integration einer Plastifiziereinheit in ein RP-System und die Konstruktion einer Versuchsanlage zum Testen, waren ein weiterer Schritt in der Entwicklung des FEP Verfahren.

Versuchsanlage Archimedes

Da der Extruder den Materialaustrag beim Verfahren FABIO während des Bauprozesses überdeckt, ist eine visuelle Beurteilung des ausgetragenen Stranges erst nach Beendung des Bauprozesses möglich. Durch diese Zeitverzögerung kann auf Schwankungen im Prozess nicht sofort reagiert werden. In diesem Versuchsstadium war dies aber zwingend notwendig. Wird der Kunststoff auf eine Walze aufgetragen, kann das Extrudat direkt begutachtet werden und ermöglicht ein schnelles Eingreifen in den Prozess. Da der Punkt des Geschehens still steht und direkt einsehbar ist. Zur Untersuchung der Grundeinstellungen, zur Durchführung von Analysen und Erarbeitung der Prozessparameter wurde aus diesem Grunde für das Projekt die Versuchseinrichtung „Archimedes“ entwickelt. Bei „Archimedes“ wurde Wert auf ein offenes System gelegt. Der Aufbau ist in Abbildung 7 zu sehen. Auftretende Schwankungen im Ablauf können sofort erfasst und Maßnahmen zur Gegensteuerung ergriffen werden.

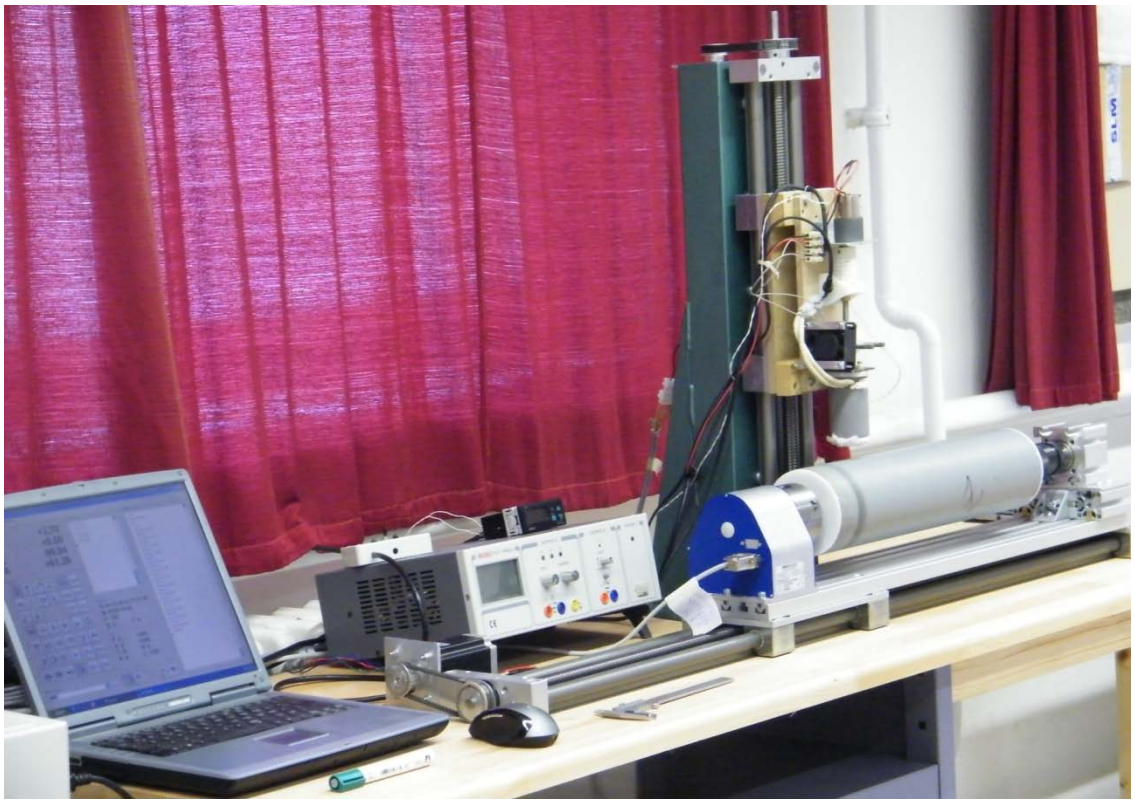


Abbildung 7: Versuchsanlage Archimedes

Die Bachelorarbeit mit der Aufgabenstellung „Aufbau und Kalibrierung der Rapid Prototyping Versuchsanlage „Archimedes“ und Entwicklung einer Software-Engine“ beschäftigte sich mit dem Aufbau und der Programmierung der Steuerung für diese Anlage. Der Synergieeffekt ergibt sich aus

der gemeinsamen Nutzung der Entwicklungen für die Anlage „Archimedes“ und FABIO. Der mechanische Aufbau besteht aus einer vertikalen und einer horizontalen Einheit. Die vertikale Einheit mit einer Lineareinheit dient der Aufnahme der Extrudereinheit und entspricht der Z-Achse. Der Antrieb wird von einem Schrittmotor übernommen, welcher den Fahrweg des Extruders ermöglicht. Die horizontale Einheit besteht aus einer Linearachse auf der zwei Bewegungsschlitten bewegt werden und einer Dreheinheit, die die Walze aufnimmt. Mit der Steuerungseinheit NCdrive wird die Steuerung über einen PC realisiert. Für die Regelung der Heizung und die Steuerung des Extruders wurden zusätzliche Komponenten integriert, die über einen Mikrocontroller gewährleistet werden. Drei verschiedene Stufen Software werden für die Steuerung von „Archimedes“ eingesetzt. Diese übernehmen die Steuerung der vier Achsen und der Extrudereinheit, lassen das Ändern von Parametern zu und erzeugen und importieren den G-Code. Dazu wurde aus quelloffenen Firmeware-Programmen eine eigene Software entwickelt, die die anlagenspezifischen Anforderungen erfüllt.

Mit der Versuchsanlage wurden die Einflüsse der Komponenten

- Schneckenkonstruktion
- Schneckenspiel
- Zylinderkonstruktion
- Schneckendrehzahl
- Temperaturführung im Extruder
- Kopf- und Mundstückgeometrie

auf den Materialaustrag, die Mischungsviskosität und -elastizität und den Reibungswiderstand der Mischung untersucht. Der Einsatz der Kapazitäten lag verstärkt auf der Extruderentwicklung, da bei unterschiedlichen Materialien die Ausstoßleistung starken Schwankungen unterworfen war. Ohne den Bau der Versuchseinrichtung wäre das Vorhaben vermutlich gar nicht zu realisieren gewesen. Die Erkenntnisse aus den Extrusionsversuchen gingen immer wieder in die Verbesserung und Anpassung der Plastifiziereinheit ein. Die konstruktiven Veränderungen und deren Umsetzung waren teilweise sehr zeitaufwendig und wurden bei der Zeitplanung des Projektes völlig unterschätzt.
Mit dem Einsatz der verschiedenen Extruderversionen wurden Step by Step weitere Fortschritte erzielt. Verschiedene Extruderversionen folgten und neu gewonnene Erkenntnisse gingen in die Besserungen der jeweils nächsten Version ein, bei denen die jeweils festgestellten Mängel behoben bzw. Verbesserungen vorgenommen wurden.

Mit der aktuellen Version wurden auf der Versuchsanlage Archimedes mit den biobasierten Kunststoffen PA, PLA, Stärke, TPU Muster generiert werden. Diese Muster wurden auf der HMI 2014 in Hannover gezeigt und erregten das Interesse der Fachwelt, da kein konventionelles RP Verfahren diese nativen Granulate verarbeiten kann.
Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Düse der aktuellen Extruderversion beim Austragen von Material, Musterringe aus verschiedenen Kunststoffen, aus Granulat erzeugt, und Möglichkeiten der Verformbarkeit eines Bio-TPU.

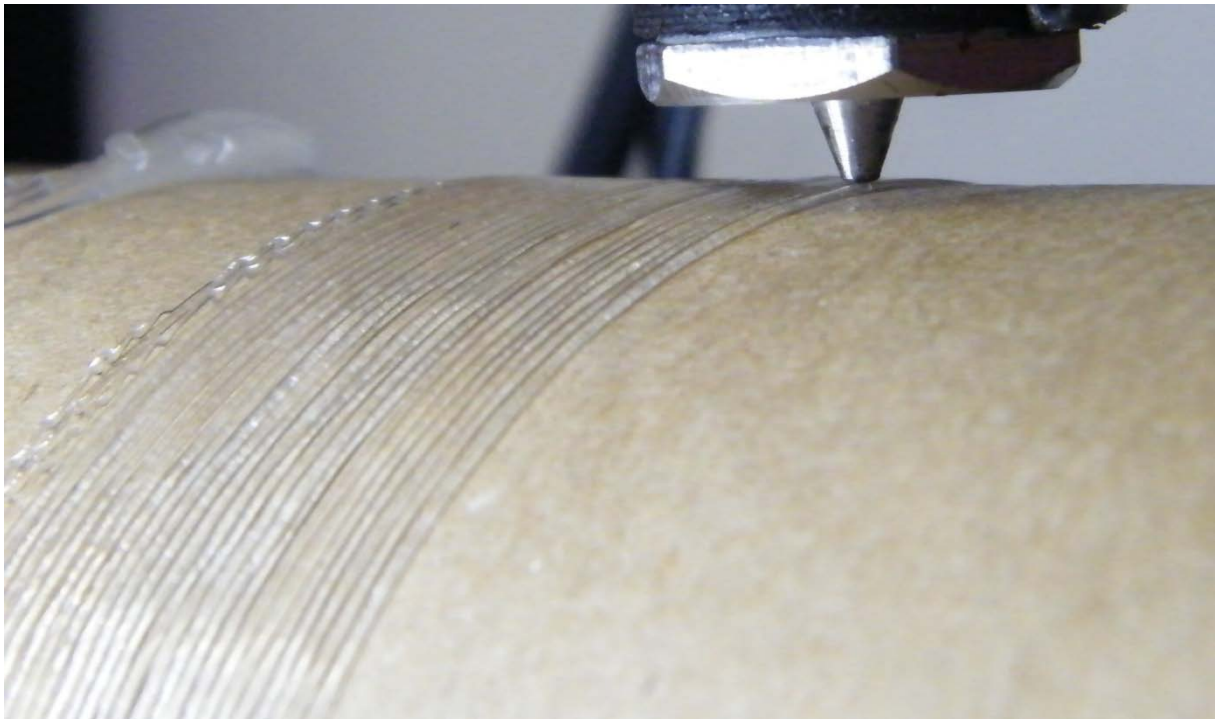


Abbildung 8: Austragen von Bio-PE aus der Düse (0,5 mm) der aktuellen Extruderversion auf der Anlage Archimedes

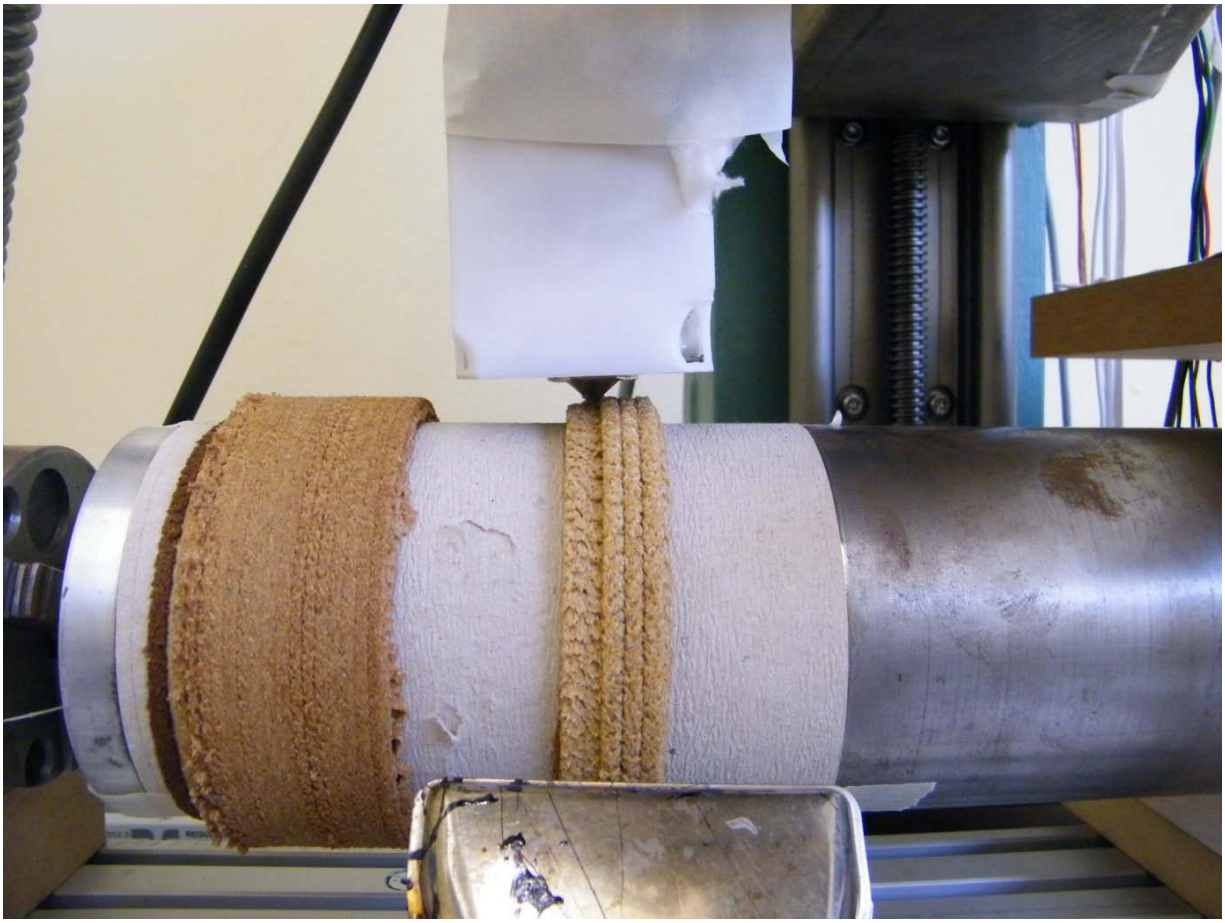


Abbildung 9: Generieren von Musterringen aus WPC-Granulat, Düsendurchmesser 2 und 3 mm, auf der Anlage Archimedes

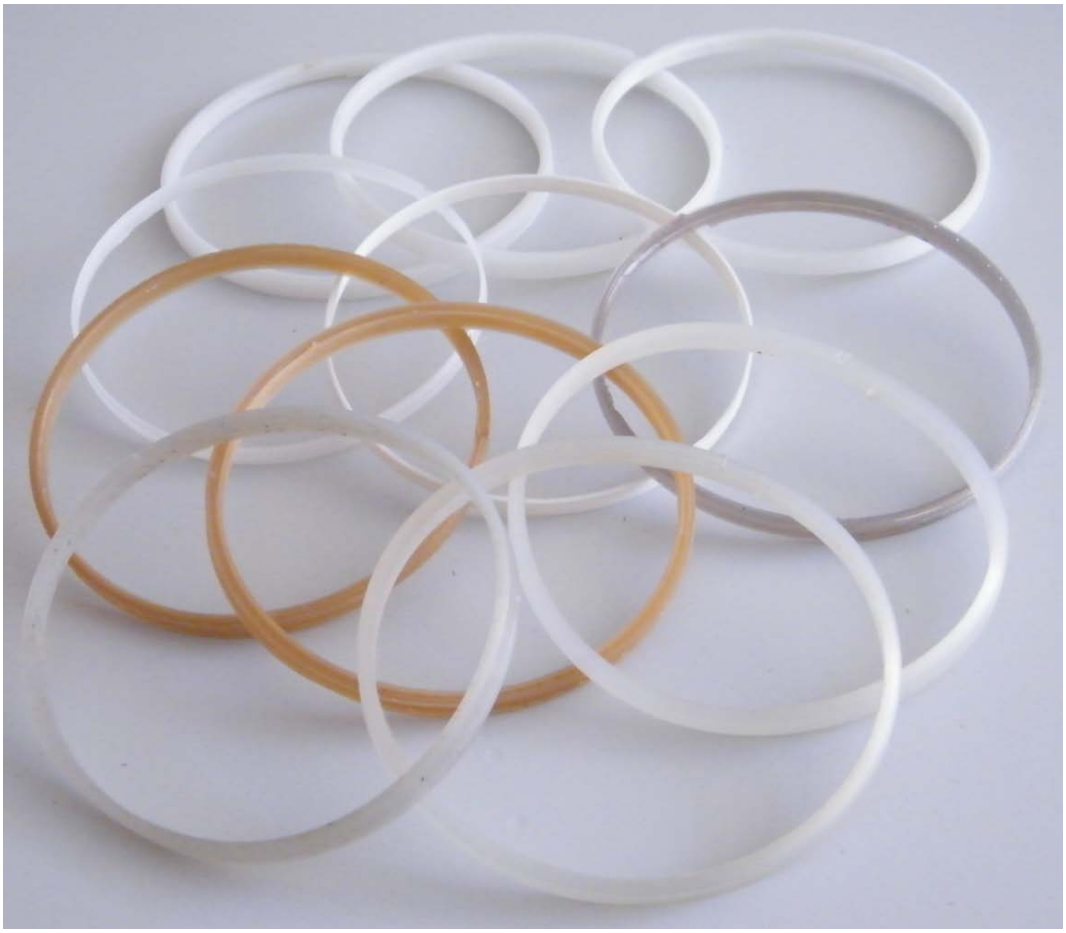
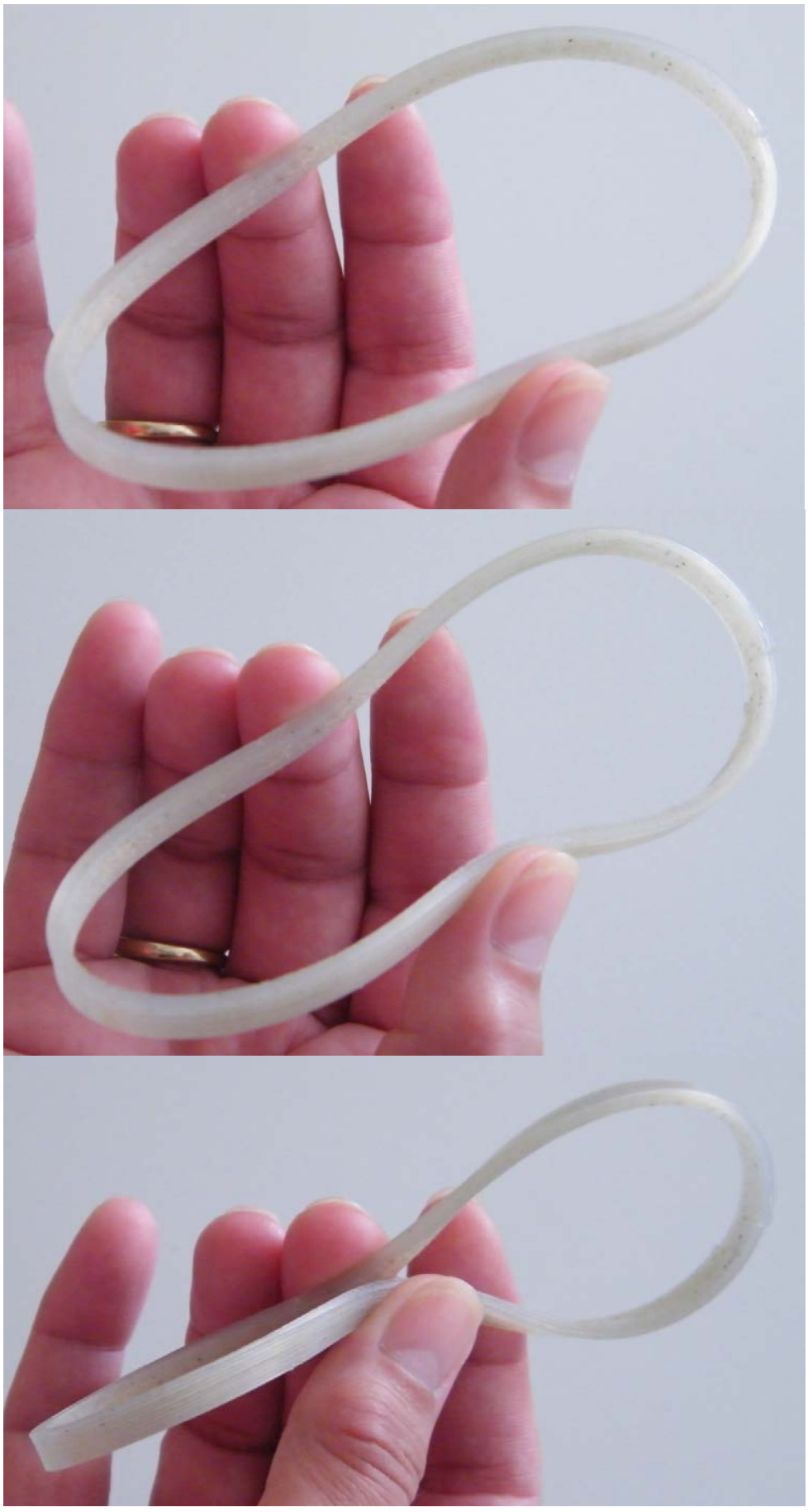


Abbildung 10: Musterringe aus den Granulaten der Biokunststoffe PA, PE, PLA, TPS, TPU; Düsendurchmesser 0,5 mm

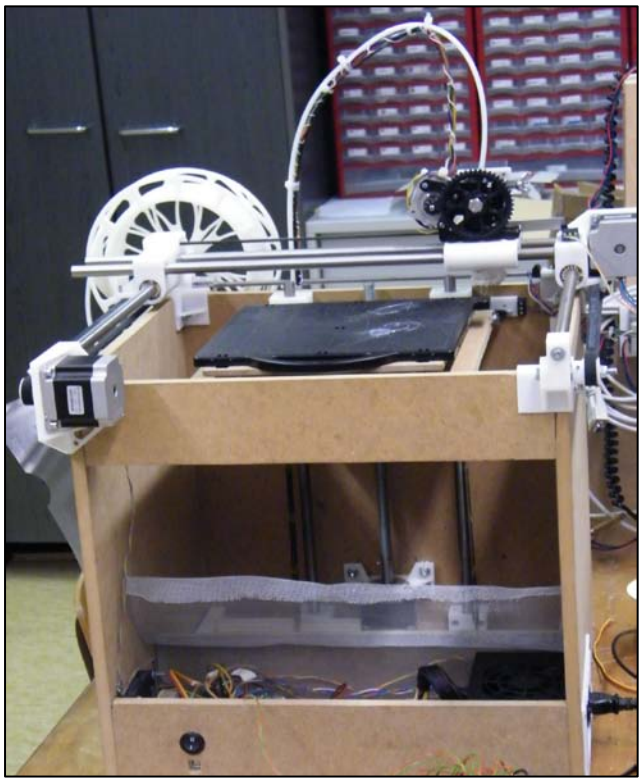
Abbildung 11: Aus WPC-Granulat generierte Musterringe, Düsendurchmesser 2 und 3 mm



Abbildungen 12, 13, 14: Ring aus TPU, elastisch verformbar

Steuerung

Parallel zur Entwicklung der Extrudereinheit wurde die Verfahreinheit inklusiv der Steuerung der Bewegungsrichtungen in X-, Y- und Z-Richtung getestet. Dazu wurde eine kleine RP-Anlage aufgebaut und unter Einsatz von Filament getestet, wie Abbildung 15 zeigt.



Eine der Bachelorarbeiten beschäftigte sich mit dem Thema „Entwicklung, Konstruktion und Bau einer elektronischen Steuerung für eine RP-Anlage zur Herstellung von Prototypen mittels LabVIEW und angeschlossener Hardware“.
Mit der graphischen Programmierumgebung LabVIEW wurde die Steuerung entwickelt, die digitale aber auch analoge Signale aufnehmen, verarbeiten und ausgeben kann. Die Steuerung soll mittels Mikrocontroller mit der RP-Anlage kommunizieren. Die Versuche wurden mit verschiedenen Mikrocontrollern und einer zweimonatigen Testversion durchgeführt.

Abbildung 15: Kleine RP Anlage zum Testen der Steuerung

Unter anderem wurden verschiedene Programmbausteine erstellt um eine gute Übersichtlichkeit des Programms sicherzustellen:

- Portvereinbarungen
- Eingangssignale
- Ausgangssignale
- Aufruf G-Code
- Prozessvariablen
- Diverse Softwarebausteine

Die Ergebnisse waren so weit positiv, wurden aber nicht weiter verfolgt, da die Lizenzsoftware LabVIEW für Microcontroller mit 10.000 € zu teuer war.

Für die Berechnung der Verfahrwege und die Kommunikation mit der Maschine wurde mit verschiedenen Softwarepaketen gearbeitet. In der nachfolgenden Tabelle 4 sind diverse Softwareprogramme aufgelistet, die für das FEP Verfahren getestet wurden und deren Bewertung.

Software									
	Name	**Verfügbarkeit**	**Qualität**	**FEP geeignet**	**Support für FEM**	**Qualität**	**FEP geeignet**	**Support für FEM**	**Ergebniss**
Slicing/CAM	Quickslice	kommerzielle Software	Sehr gut	nein	ja	5	0	2	0
	Quickslice + Java Script	kommerzielle Software + eigenes Script	Sehr gut	bedingt	nein	5	1	0	0
	Viscam	kommerzielle Software	gut	nein	nein	4	0	0	0
	NetFab	kommerzielle Software	gut	bedingt	nein	4	1	0	0
	KISSlicer	kommerzielle Software	befriedigend	ja	ja	3	2	2	12
	Slic3r	Open Source	ausreichend	ja	ja	2	2	2	8
	Skeinforge	Open Source	mangelhaft	bedingt	nein	1	1	0	0
	Cura	Open Source	befriedigend	bedingt	bedingt	3	1	1	3
									0
Printer Control									0
	Ncdrive	kommerzielle Software	sehr gut	bedingt	nein	5	1	0	0
	Pronterface	Open Source	befriedigend	ja	ja	3	2	2	12
	RepetierHost	Open Source	gut	ja	ja	4	2	2	16

Tabelle 4: Softwareprogramme und deren Bewertung für den Einsatz im FEP Verfahren

Für einen komplexen Prozess wie FABIO gibt es am Markt keine Standardsoftware, die alle Bedingungen kompromisslos erfüllt.

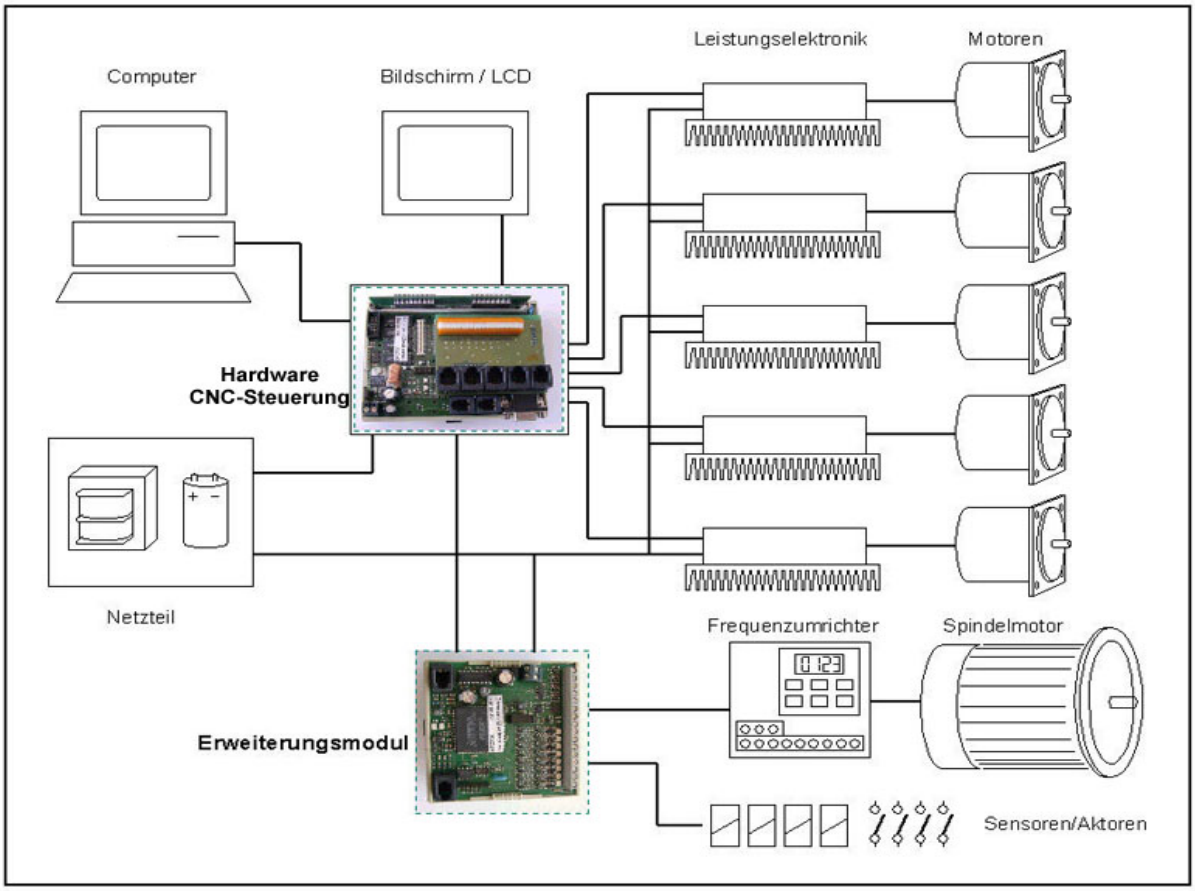


Abbildung 16: Blockschaltbild Elektrik mit Steuerung, Leistungseinheit und Motoren

Abbildungen 17, 18, 19, 20: FABIO-Steuerung I (mittlerweile durch eine SPS-Steuerung II ersetzt)

Die Steuerung der Anlage wurde mit einer Eigenentwicklung und mit gekauften Komponenten durchgeführt, siehe Abbildungen 17 - 20.

Der Aufbau der Gesamtsteuerung ist im Blockschaltbild, Abbildung 21, dargestellt.

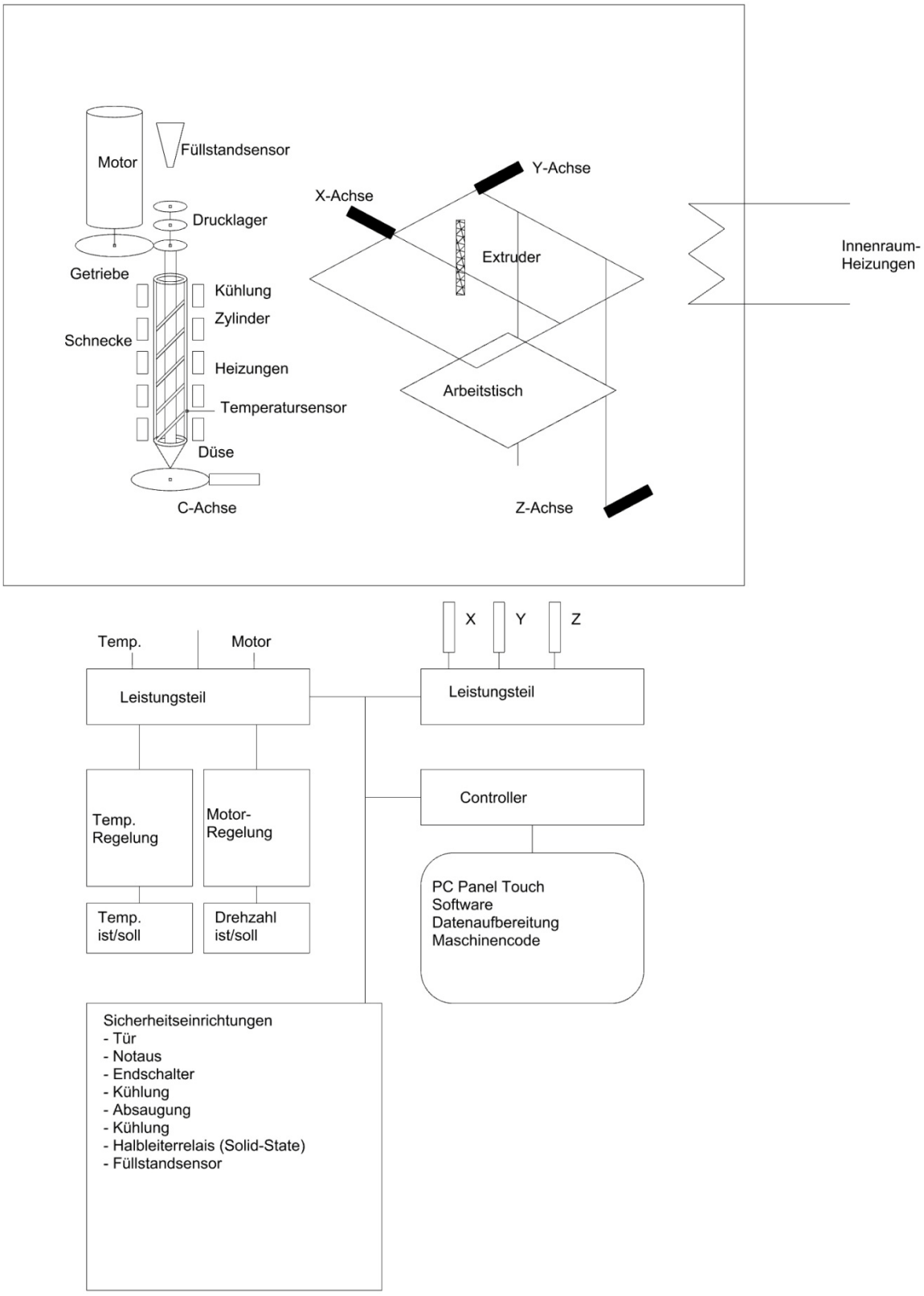


Abbildung 21: Blockschaltbild der Gesamtsteuerung

Gestell

Für die Anlage FABIO musste ein Gestell entwickelt werden, welches flexibel forschungstypische Änderungen zulässt. Einige Restriktionen waren vor dem Konstruieren zu beachten.

- Größe des Bauraumes
- Größe des Miniaturextruders
- Anzahl der Achsen bzw. Ebenen
- eventuell Kamera-Ebene, zum Beobachten des Materialaustritts aus der Düse
- Berücksichtigung von Kabelkanälen und Leitungsdurchgängen
- Elektroraum für die Steuerung und Elektrik
- Werkzeugraum
- Beachtung des Gesamtgewichtes der Anlage
- Beachtung auftretender Schwingungen beim Richtungswechsel der Achsen
- Planung von Wartungsklappen für gute Zugänglichkeit

Die Bachelorarbeit mit dem Thema „Entwicklung, Konstruktion und Bau einer Extruderwechsel- und Befüllvorrichtung für eine FLM-Anlage zur Herstellung von Prototypen aus biobasierten Polymeren“, umfasste auch die Konstruktion und Fertigung des Grundgestells.
Die Konstruktion wurde mit Hilfe des 3D-CAD-Programmes Solid Works erstellt. Das Ergebnis ist in Abbildung 22 zu sehen. Abbildung 23 zeigt das gebaute Anlagengestell laut Zeichnung.

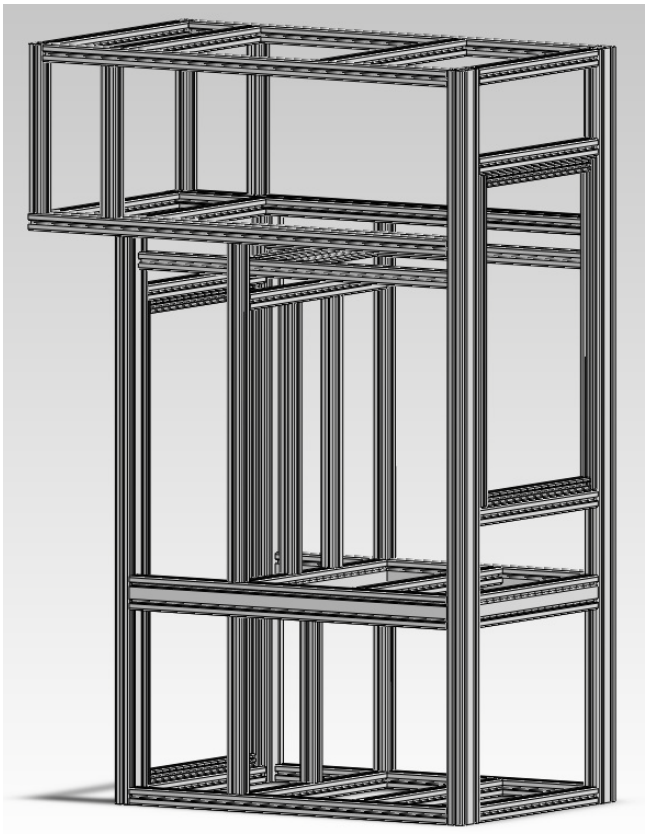


Abbildung 22: Graphische Darstellung des Maschinengestells

Abbildung 23: Gestell

Die Umsetzung der Konstruktion erfolgte mit einem Vierkantprofilsystem aus Aluminium der Firma item mit darauf abgestimmter Verbindungstechnik und verschiedenen Funktionselementen. Die

Verkleidung wurde mit Kunststoffverbundplatten realisiert. Das Gestell muss statische und dynamische Lasten aufnehmen und die Achsen, die Extruder für Material und Support, die Materialbehälter, Kühl- und Heizsystem, die Elektronik und die Software integrieren. Zudem muss ein Abdichten des Bauraumes gegen Wärmeverluste, Verunreinigung und Feuchtigkeit gewährleistet werden.

Die Vorstellung der FABIO Anlage erfolgte auf der Hannover Messe 2013 am Gemeinschaftsstand „Forschung für die Zukunft“. Eine Vorführung konnte nicht realisiert werden, da am Messestand ein Fehler in der Steuerung auftrat, der am Stand nicht behoben werden konnte. Inzwischen wurde auf eine SPS Steuerung umgebaut.
Die nachfolgenden Bilder zeigen den Messestand der Hochschule und Besucher, u.a. Mitglieder der Landesregierung Sachsen-Anhalts, im Gespräch mit dem Projektleiter des Forschungsprojektes der Hochschule.

Abbildung 24: Messestand der Hochschule Merseburg am Gemeinschaftsstand „Forschung für die Zukunft“ Hannover Messe 2013

Abbildung 25: Gespräche am Messestand, Hannover Messe 2013

Abbildung 26: Gespräch am Messestand mit Dr. Tamara Zieschang, Staatssekretärin im Ministerium Wissenschaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt, Hannover Messe 2013

Auflistung der Bachelor- und Masterarbeiten, die das Forschungsprojekt unterstützten:

Bachelorarbeiten

- „Entwickeln, Konstruieren und Bau einer Schmelzaufbereitung und –förderung von nativen Granulaten für eine Rapid Prototyping Anlage“, Herr Stephan Klein, Fachbereich INW, Aug 2011
- „Aufbau und Kalibrierung der Rapid Prototyping Versuchsanlage „Archimedes“ und Entwicklung einer Software-Engine“; Herr Felix Heinze, Fachbereich INW, Nov 2012
- „Entwicklung, Konstruktion und Bau einer Extruderwechsel- und Befüllvorrichtung für eine FLM-Anlage zur Herstellung von Prototypen aus biobasierten Polymeren“; Herr Ferdinand Müller, Fachbereich INW, Sept 2013
- „Entwicklung, Konstruktion und Bau einer elektronischen Steuerung für eine RP-Anlage zur Herstellung von Prototypen mittels LabVIEW und angeschlossener Hardware“, Herr Steffen Pilz, Fachbereich INW, Mai 2013

Masterarbeiten

- „Entwicklung, Konstruktion und Bau einer Versuchseinrichtung als Basis für eine Rapid Prototyping Anlage zur Herstellung von Prototypen aus biobasierten Polymeren“; Herr Sebastian Westphal, Fachbereich INW, Sept 2011
- „ Entwerfen und Implementieren einer Software zur Erzeugung von Prozessdaten zur Herstellung von Prototypen im FABIO-Prozess“, Herr Steffen Beyer, Fachbereich INW und IKS, März 2013

Fazit

Kennwerte zur Verarbeitung der Biokunststoffe wurden mittels verschiedener Analysen bestimmt. Die Extrudereinheit wurde so weiterentwickelt, dass sie alle Granulatgrößen verarbeiten kann. Temperaturbereiche sind bis 300°C einstellbar.
Die Versuchseinrichtung „Archimedes“ war für den Entwicklungsprozess unerlässlich. Verschiedene Einstellungen konnten mit einer Auswahl an Biokunststoffen getestet und prozessbehindernde Mängel beseitigt werden.
Komplexe und Einzelteile für den Innenaufbau der FABIO Anlage wurden zum Teil auf hochschuleigenen RP Maschinen generiert. Das Gestell konnte mit Innenaufbauten versehen werden, u.a. Heizung, Kühlung, Granulatzuführung, Bauplattform, Verfahreinheiten in X-, Y-, Z-Richtung. Das Zusammenspiel von Steuerung und Software konnte unabhängig vom Materialeinsatz getestet werden. Trotz aller technischen Schwierigkeiten konnte biobasiertes, thermoplastisches Granulat mit einer Mini-Extrusionsanlage verarbeitet und Musterringe erstellt werden.

Da zum Ende der regulären Laufzeit (31.10.2013) des Projektes noch keine ausreichenden Ergebnisse vorlagen, wurde eine Verlängerung der Laufzeit beim Fördermittelgeber beantragt. Die Genehmigung erfolgte kostenneutral für ein halbes Jahr, bis 30.04.2014.

Die vorhandene Anlage soll auch ohne weitere finanzielle Unterstützung vom Projektträger zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht werden. Das Ziel, eine Dienstleistungsplattform für Rapid Prototyping in Form eines „Spin off“ zu errichten, bleibt bestehen. Das Einverständnis des Projektträgers zur Verwertung der Erfindung durch das zu gründende Unternehmen vorausgesetzt, wurden schon Gespräche mit der Hochschulleitung geführt wurden, um die Übertragung der Rechte zu garantieren. Die mündliche Zusage besteht, die schriftliche Vollmacht ist eine Formsache.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen waren die Personalausgaben Pos. 0812 – 0822 und beliefen sich auf 281.500 €. Die Summe der Investitionen waren mit 98.000 € veranschlagt und wurden hauptsächlich zum Aufbau der Anlage FABIO und der Versuchseinrichtung Archimedes verwendet. Die Mittel Dritter in Höhe von 75.000 € konnten nicht vollständig zum Einsatz kommen, da zum einen die Firma Wessel Werk im Jahr 2011 Insolvenz anmeldete und zum anderen der Anteil des Unternehmens VW ausblieb. Die Zahlungen von VW wurden verweigert, weil Prototypen aus Materialien wie PP und POM gefordert aber nicht hergestellt wurden, da dies nicht mit der Antragstellung übereinstimmte.

Neben den Industriepartnern stellte das An-Institut FBZ, Forschungs- und Beratungszentrum e.V., Arbeitskreis Produkt- und Verfahrensentwicklung der Hochschule immer wieder Gelder für Beschaffungen zur Verfügung. Insgesamt wurde das Projekt vom FBZ mit ca. 10.000 € bezuschusst.

Der zahlenmäßige Nachweis wird gesondert über das Dezernat Haushalt und Controlling der Hochschule erfolgen.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Für die Durchführung des Forschungsprojektes war die Beantragung von Bundesmitteln notwendig. Die Probleme bei der Umsetzung der Ziele konnten durch die ausgabenneutrale Laufzeitverlängerung bis April 2014 nicht kompensiert werden. Der wirtschaftliche Rahmen war für die Erreichung des momentanen Forschungsstandes angemessen. Insgesamt muss festgestellt werden, dass die festgelegten Kosten für das beantragte Projekt nicht ausreichten und der Umfang der Aufgaben im Zeitraum nicht zu bewältigen waren. Es wird weiterhin an der Fertigstellung der Rapid Prototyping Anlage FABIO zur Verarbeitung von thermoplastischem Granulat festgehalten.

4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses

Da das Verfahren FABIO zur Herstellung von Prototypen aus Biokunststoffen noch keine technologische Reife erreicht hat, konnten die gesetzten Ziele während der Projektlaufzeit nicht erreicht werden (wie an anderer Stelle schon erläutert). Die Fertigstellung der Technologie wird, wie im fortgeschriebenen Verwertungsplan 2013/2014 (siehe Anhang) beschrieben, auch nach der Laufzeitverlängerung weiterhin angestrebt.

5. Fortschritt anderen Stellen auf dem Gebiet

In Bezug auf das Vorhaben wurden laufend Recherchen zum Stand von Wissenschaft und Technik durchgeführt.
Seit einiger Zeit erobern kleine RP-Anlagen, sogenannte RapRap`s oder Fabber den Markt, die nicht als Konkurrenz zum Verfahren FABIO angesehen werden, da diese Verfahren mit Filament arbeiten. Das Prinzip entspricht dem FDM-Verfahren. Oberflächen, Festigkeiten und Genauigkeiten lassen zu wünschen übrig. Die Anlagen werden meist als Bausätze kostengünstig angeboten. Auf ihnen entstehen einfache Bauteile ohne Stützmaterialien in einem begrenzten Bauraum. Diese Fabrikate werden zu niedrigen Preisen angeboten, z.B. von den Firmen:

- MakerBot Industries, USA
- GLI Concept GmbH (Shapercube), Deutschland.

Der deutsche Maschinenbauer ARBURG stellte Ende 2013 auf den Messen „K“ und „Euromold“ einen Prototyp der Maschine „freeformer“ vor, die aus Standardgranulaten, im Moment PA, ABS, PC und TPU-Gummi, Bauteile durch schichtweisen, tröpfchenförmigen Auftrag erstellt. Allerdings lässt dieses Prinzip die Annahme zu, dass die Festigkeit der Bauteile in Z-Richtung nicht den Erwartungen entsprechen wird. Weitere Informationen waren bis heute nicht zu bekommen.

6. Veröffentlichungen

D. Glatz; G. Witt: 3D-Druck aus den Kinderschuhen helfen; Im Blickpunkt - VDMA Nachrichten 05/2014, ISSN: 1616-4598

D. Glatz: 7. Rapid Prototyping Forum und ego.-Inkubator an der Hochschule Merseburg; KAT NEWSLETTER, Dezember 2013

D. Glatz: Universelle Versuchseinrichtung „Archimedes“; Forschungsbericht 2013 Hochschule Merseburg, ISBN: 978-3-942703-20-8

D. Glatz: „Grüne Rohstoffe“ und deren Verarbeitung; Studieren. Forschen. Leben. 20 Jahre Forschung an der Hochschule Merseburg, 2012, ISBN: 978-3-942703-09-3

III. Erfolgskontrollbericht

Inhalt

1. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen……2
2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens ……3
3. Fortschreibung des Verwertungsplans……3
   3.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen……4
   3.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende……4
   3.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende……4
   3.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit……4
4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben……5
5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer……5
6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung……5

1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Die Forschungsarbeiten wurden unter dem Schwerpunkt „Biobasierte Polymere und Biobasierte Naturfaserverstärkte Kunststoffe“ des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ der FNR durchgeführt. Entsprechend dem Grundsatz der Substitution von fossilen Rohstoffen durch nachwachsende Rohstoffe sollen den Bioplastics nachhaltige Anwendungsgebiete erschlossen werden. Der Trend geht zu langlebigen Produkten, die in der Konsumgüterindustrie oder Automobilindustrie zum Einsatz kommen.
Durch Zusammenarbeit von Wissenschaft und Technik, unterstützt durch die politischen Rahmenbedingungen, können positive Veränderungen herbeigeführt und der Einsatz von Polymeren aus nachwachsenden Rohstoffen forciert werden. Der Einsatz von Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ist für die Umwelt langfristig unerlässlich.

„Nachwachsende Rohstoffe im Allgemeinen und Naturfasern im Speziellen werden zukünftig als Werkstoffe in wesentlich breiterem Umfang neuartige Verwendungsmöglichkeiten erschließen. Werden im Entwicklungsprozess dieser Produkte frühzeitig wirtschaftliche Kriterien und ökologische und soziale Anforderungen einbezogen, lassen sich innovative und nachhaltige Produkte realisieren.“ *(Zitat: Prof. Dr.-Ing. Jörg Müssig, Hochschule Bremen, Branchenführer Innovative Biowerkstoffe 2009 – BIB´09)*

Geht man von einer Entwicklung der Biokunststoffproduktion aus, wie sie in der nachfolgenden Übersicht des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) Hannover dargestellt ist, wird eine Steigerung um 300 % bis zum Jahr 2017 erwartet. Daraus lässt sich auch eine Erschließung neuer Anwendungsgebiete ableiten. Das bietet einem Rapid Prototyping Verfahren, welches biobasiertes thermoplastisches Granulat verarbeiten kann, erfolgreiche Aussichten für eine Etablierung am Markt.

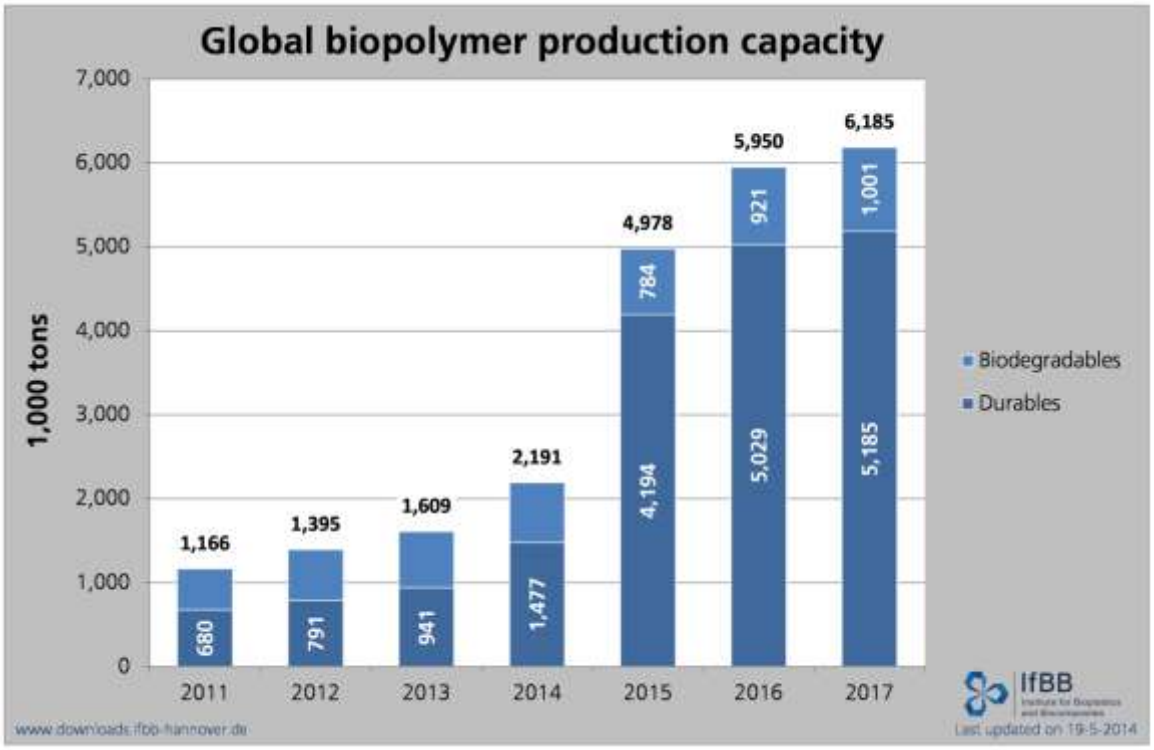


Abbildung 1: Darstellung der Entwicklung der Produktionskapazitäten der Biokunststoffe

2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens

Die Entwicklung der Plastifiziereinheit, Herzstück der Anlage, hat sich über verschiedene Entwicklungsstufen erstreckt. Fehlfunktionen im Ablauf erforderten Änderungen und brachten immer wieder neue Erkenntnisse zur Verbesserung der Einheit. Step by step wurde der Einzug des Granulates, die Schneckengeometrie, Zylinder und Heizsystem optimiert. Die Entwicklung der Versuchseinrichtung „Archimedes“ hat daran großen Anteil, weil das Aufschmelzverhalten und der Masseaustrag auf eine rotierende Walze, besser beobachtet und visuell beurteilt werden kann. Auf Schwankungen im Ablauf kann zeitnah reagiert werden. Die feststehende Austragsdüse bleibt "Point of Interest" und die Erarbeitung der Prozessparameter wird wesentlich erleichtert. Die Einflüsse von Zylinder- und Schneckenkonstruktion, Schneckenspiel, Schneckendrehzahl, Temperatur- und Luftführung sowie Kopf- und Mundstückgeometrie auf den Materialaustrag werden ebenfalls mit der Anlage Archimedes untersucht. Die Versionen der Extrudereinheit wurden so konzipiert, dass sie an Archimedes als auch an der Anlage FABIO eingesetzt werden kann. Für die Erhöhung der Festigkeit in Z-Richtung gibt es technologisch umsetzbare Ansätze.

3. Fortschreibung des Verwertungsplans

	2013	2014
Erfindungen/Schutz-rechtsanmeldungen	- Prinzip der Plastifiziereinheit und Schneckenauslegung für den Einsatz nativer Werkstoffe (in Arbeit)	- Patentanmeldung - (Eventuell Lizenzvergaben nach Etablierung)
Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	- Nutzung der Plattform durch Forschungspartner während der Projektlaufzeit - breites Anwendungsspektrum der Biokunststoffe - Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit	- Einsatz von Granulat - Einsatz von Serienmaterial - Kostensenkung - Dienstleister für generativ hergestellte Produkten aus Granulat
Wissenschaftliche/ technische Erfolgsaussichten	- Einfließen der Ergebnisse in Lehrveranstaltungen Maschinenbau/Kunststofftechnik - Basis für weitere Forschungsvorhaben - Förderung der Außenwirkung der Hochschule	- Schonung von Ressourcen - Förderung der Außenwirkung der Hochschule - Transfer wissenschaftlicher Ergebnisse in die Wirtschaft
Wissenschaftliche/ wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	- Erschließung neuer Anwendungs-optionen für die Wirtschaft - Kontakt zu Forschungs- und Industriepartnern intensivieren - Wertschöpfung bei sinkendem Ressourceneinsatz - Stärkung die Innovationskraft der Hochschule	- Weiterentwicklung des Verfahrens (bzgl. Festigkeiten) - Adaption an zahlreiche Granulatsorten - Positive Marktbeeinflussung durch Designer - Technologievorsprung - Ausgründung aus HS (Spin off)

3.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Die Patentanmeldungen für die Versuchsanlage Archimedes und das Verfahren FABIO sind in Vorbereitung und sollen 2014 eingereicht werden. Über die Vergabe von Lizenzen wird entschieden nachdem die Technologie sich am Markt etabliert hat.

3.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Der Markt wird durch den erhöhten Einsatz von biobasierten Prototypen langfristig für die grünen Werkstoffe geöffnet. Die Vorteile ergeben sich aus dem Einsatz von thermoplastischem Granulat und damit der Verwendung des Serienmaterials schon bei der Herstellung von Prototypen und Modellen. Weiterhin sind die Kosten der Erzeugnisse ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor. Thermoplastische Granulate sind im Preis wesentlich günstiger als die an das jeweilige RP Verfahren adaptierten Werkstoffe. Die vorgelagerte Wertschöpfungskette zur Erzeugung eines Kunststoffstranges entfällt, da das Granulat direkt verwendet wird. Das ist ein weiterer Vorteil des Verfahrens gegenüber seinen Mitbewerbern.

Der Fokus der wirtschaftlichen Verwertung liegt vorrangig in der Gründung eines „Spin off“ als Plattform zur Erstellung von Prototypen aus biobasierten Polymeren. Die Ausgründung aus der Hochschule wird derzeit vorbereitet. Über Lizenzvergaben wird nachgedacht, wenn das Verfahren eine Prozessstabilität und Wiederholbarkeit über mehrere Monate aufrecht hält. Die Etablierung als Dienstleister wird angestrebt. Dieses Verfahren wird die Rapid Prototyping Branche revolutionieren.

3.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes werden in Lehrveranstaltungen im Bereich Maschinenbau und Kunststofftechnik der Hochschule einfließen. Die Problematik wird Basis für weitere Forschungsvorhaben sein. Die im Vorhaben gewonnenen Partner, speziell die Designer, werden von der Entwicklung profitieren und die Markteinführung positiv beeinflussen. Der ökologische Effekt wird durch die nachwachsenden Rohstoffe erzielt, trägt zur Schonung der Umwelt und wertvoller Ressourcen bei. Die Verfahrensentwicklung wird zudem die Außenwirkung der Hochschule ausbauen und den Transfer wissenschaftlicher Ergebnisse in die Wirtschaft fördern.

3.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Um Massenkunststoffe aus Erdöl durch Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zu ersetzen, müssen neue Wege gegangen werden. Durch die Herstellung von Prototypen aus thermoplastischen Biopolymeren wird eine neue Grundlage für Konstruktionswerkstoffe geschaffen. Das enorme Entwicklungspotential wird die Integration auf dem Markt begünstigen. Basis für diese positive Marktbeeinflussung sind die am Projekt beteiligten Designer. Sie werden ihre neuartigen Entwürfe in Produkte umsetzen und über einen Wissens- und Technologievorsprung von ca. drei Jahren verfügen.
Geplant ist die Ausgründung aus der Hochschule in Form eines Spin off und Aufbau einer Dienstleistungsplattform Rapid Prototyping.

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Voruntersuchungen, sowohl bei den Pulvern für das selektive Lasersintern als auch bei den photosensitiven Harzen für das PSP Verfahren (Photo Sensitive Polymerisation) führten zu dem Ergebnis, dass Materialien nicht in der vom Projekt gewünschten Form zur Verfügung stehen und nur mit sehr hohem Kosten- und Zeitaufwand hätten produziert werden müssen. Daher wurde entschieden, diese beiden Versuchsreihen nicht weiter voranzutreiben. Diese Entscheidung zeigte sich im Nachhinein als richtig, da ein Ausfall von 50 T€ von den Industriepartnern hingenommen werden musste. So war die Konzentration auf das FEP Verfahren die einzig sinnvolle Lösung.

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Während der Projektlaufzeit wurden Workshops zum Stand des Vorhabens mit den Beteiligten Partnern durchgeführt. In Diskussionen wurden Fragen erörtert. Da es aufgrund der vielen Partner schwierig war gemeinsame Termine zu finden, wurden mit verschiedenen Beteiligten Abstimmungen telefonisch vorgenommen und Gespräche bei Messebesuchen geführt.

24.05.2011 Kick-off Veranstaltung FABIO im Rahmen der Rapid.Tech 2011 auf der Messe in Erfurt
07.05.2012 Workshop im Rahmen der Rapid.Tech 2012 auf der Messe in Erfurt

6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Wie schon im Schlussbericht unter Punkt 3, 6 und 7 dargestellt, konnten die gestellten Aufgaben nicht in der geplanten Zeit umgesetzt werden.

Durch Fehlen von Investitionsmitteln von Partnern konnten die Mittel nicht vollständig in Anspruch genommen werden. Dies beeinträchtigte die Entwicklungsarbeiten.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart **Schlussbericht**

3a. Titel des Berichts
Entwicklung von Vorrichtungen und Verfahren zum Einsatz von unterschiedlichen BioPlastics für die Rapid Prototyping Technologie - FABIO - (FAbrication of parts with BIOplastics)

3b. Titel der Publikation

4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n))	5. Abschlussdatum des Vorhabens
Glatz, Dietmar; Menzel, Karin	30.04.2014
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	6. Veröffentlichungsdatum 17.10.2014
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Hochschule Merseburg Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften Geusaer Straße 06217 Merseburg	9. Ber.Nr. Durchführende Insitution
	10. Förderkennzeichen *) 22007607 bzw. **07NR076**
	11a. Seitenzahl Bericht 26
	11b. Seitenzahl Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) 11055 Berlin	12. Literaturangaben 11
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 26

16. Zusätzliche Angaben

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

18. Kurzfassung: max. 2000 Zeichen
Schnell verfügbare Prototypenteile werden heute in allen Bereichen benötigt und sind für den Produktentwicklungsprozess unerlässlich. Das Angebot an Rapid Prototyping (RP) Verfahren ist begrenzt und nur wenige Werkstoffe können eingesetzt werden. Die FABIO Technologie bietet hier erstmals freie Auswahl aus allen thermoplastischen Granulaten. Im Mittelpunkt der Forschung stand die Entwicklung von Verfahren und Vorrichtungen, um Biokunststoffe mit RP Technologien zu verarbeiten. Das Vorhaben beinhaltete drei Schwerpunkte: 1. Entwicklung des RP-Verfahrens Fused Extrusion Prototyping (FEP) zur Verarbeitung thermoplastischer biobasierter Kunststoffe in Granulatform; 2. Adaption von Biokunststoffen in Pulverform auf gebräuchliche Sinteranlagen; 3.Verfahrensentwicklung zur Verarbeitung von photosensitiven duromeren Biokunststoffen; Verschiedene Gründe führten dazu, dass der erste Schwerpunkt in den Fokus rückte. Schwerpunkte 2 und 3 wurden nach ersten Recherchen zurückgestellt und konnten später nicht mehr realisiert werden. Zahlreiche Recherchen wurden zu den Biokunststoffen durchgeführt. Eine Mini-Extrudereinheit zum Aufschmelzen und Austragen des Granulats wurde entwickelt. Zur Untersuchung der Grundeinstellungen, Durchführung von Analysen und Erarbeitung der Prozessparameter wurde die Versuchseinrichtung „Archimedes“ gebaut. Auftretende Schwankungen im Ablauf können sofort erfasst und Maßnahmen zur Gegensteuerung ergriffen werden. Mit verschiedenen biobasierten, thermoplastischen Kunststoffen wurden Versuche durchgeführt und dabei die Extrudereinheit den ständig wechselnden Anforderungen angepasst. Einher ging die Entwicklung von Software, Steuerung und Aufbau des Grundgestells. Die Komplementierung der FABIO-Anlage steht bevor. Nach erfolgreichem Abschluss wird die Ausgründung aus der Hochschule in Form eines Spin off, als Dienstleistungsplattform für Prototypenteile angestrebt.

19. Schlagwörter
Rapid Prototyping, Biokunststoffe, Nachwachsende Rohstoffe, Granulat

20. Verlag	21. Preis

*) Auf das Förderkennzeichen des BMVEL soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Projekttitel: **Entwicklung von Vorrichtungen und Verfahren zum Einsatz von unterschiedlichen BioPlastics für die Rapid Prototyping Technologie - FABIO - (FAbrication of parts with BIOplastics)**

FKZ: **22007607**

Projektbeschreibung: max. 2000 Zeichen

Schnell verfügbare Prototypenteile werden heute in allen Bereichen benötigt und sind für den Produktentwicklungsprozess unerlässlich. Das Angebot an Rapid Prototyping (RP) Verfahren und damit auch die Auswahl der einzusetzenden Werkstoffe sind begrenzt. Die FABIO Technologie bietet hier erstmals die Chance aus dem breiten Sortiment von thermoplastischen Granulaten auszuwählen. Im Mittelpunkt der Forschung stand die Entwicklung von Verfahren und Vorrichtungen, um Biokunststoffe mit RP Technologien zu verarbeiten. Das Vorhaben beinhaltete drei Schwerpunkte: 1. Entwicklung des RP-Verfahrens Fused Extrusion Prototyping (FEP) zur Verarbeitung thermoplastischer biobasierter Kunststoffe in Granulatform; 2. Adaption von Biokunststoffen in Pulverform auf gebräuchliche Sinteranlagen; 3.Verfahrensentwicklung zur Verarbeitung von photosensitiven duromeren Biokunststoffen; Verschiedene Gründe führten dazu, dass der erste Schwerpunkt in den Fokus rückte. Schwerpunkte 2 und 3 wurden nach ersten Recherchen zurückgestellt und konnten später nicht mehr realisiert werden. Zahlreiche Recherchen und Analysen wurden zu den Biokunststoffen durchgeführt. Eine Mini-Extrudereinheit zum Aufschmelzen und Austragen des Granulats wurde entwickelt und erste Versuche gefahren. Zur Untersuchung der Grundeinstellungen, Durchführung von Analysen und Erarbeitung der Prozessparameter wurde die Versuchseinrichtung „Archimedes“ aufgebaut. Auftretende Schwankungen im Ablauf können damit sofort erfasst und Maßnahmen zur Gegensteuerung ergriffen werden. Die Extrudereinheit wurde ständig den Anforderungen angepasst. Einher ging die Entwicklung von Software, Steuerung und Aufbau des Grundgestells. Die Komplementierung der FABIO-Anlage steht kurz bevor. Nach erfolgreichem Abschluss wird die Ausgründung aus der Hochschule in Form eines Spin off, als Dienstleistungsplattform für Prototypenteile angestrebt.

Projektergebnisse: max. 2000 Zeichen

Verschiedene Gründe haben dazu geführt, dass **Schwerpunkt 1** während des Bearbeitungszeitraumes immer mehr in den Fokus rückte. Kennwerte zur Verarbeitung der Biokunststoffe wurden mittels verschiedener Analysen bestimmt. Die Extrudereinheit wurde so weiterentwickelt, dass sie alle Granulatgrößen verarbeiten kann. Temperaturbereiche sind bis 300°C einstellbar. Erforderliche Kühleinrichtungen wurden berücksichtigt.
Die Versuchseinrichtung „Archimedes“ begünstigte den Entwicklungsprozess. Verschiedene Einstellungen konnten mit einer Auswahl an Biokunststoffen getestet und prozessbehindernde Mängel beseitigt werden.
Komplexe und Einzelteile für den Innenaufbau der Anlage wurden z.T. auf hochschuleigenen RP Maschinen generiert. Das Gestell konnte mit Innenaufbauten versehen werden, u.a. Wechselvorrichtungen, Heizung, Kühlung, Granulatzuführung, Bauplattform, Verfahreinheiten in X-, Y-, Z-Richtung. Das Zusammenspiel von Steuerung und Software konnte unabhängig vom Materialeinsatz getestet werden. **Schwerpunkt 2** – Die Schwierigkeiten bei der Beschaffung der gebrauchten Sinteranlage wurden zum Hindernis bei der Bearbeitung. Die Anschaffung und die notwendige Überholung der Anlage wäre mit Kosten verbunden gewesen und mit den vom Zuwendungsgeber bereitgestellten Mitteln nicht umsetzbar. Alternative Angebote wurden nicht gefunden. Versuche sollten nach Absprache mit einer Firma, die Sinterteile herstellt, durchgeführt werden. Terminliche Engpässe im laufenden Produktionsbetrieb verhinderten dies. Die Beschaffung der Biokunststoffe in Pulverform gestaltete sich schwierig und kostenintensiv (1kg ca. 600 €), durch den hohen technologischen Aufwand beim Mahlen. **Schwerpunkt 3 –** Recherchen zu biobasierten Harzen wurden durchgeführt und Verbindungen zu den Herstellern aufgenommen. Testreihen unter Verarbeitungsbedingungen wurden vorgenommen, aber die Umsetzung erwies sich als kompliziert. Die Verfahrensentwicklung zur Verarbeitung von photosensitiven duromeren Biokunststoffen wurde deshalb zurückgestellt und konnte im Bearbeitungszeitraum nicht wieder aktiviert werden.

Project Title: **Development of Equipment and Process for Rapid Prototyping Methods FABIO (fabrication of prototypes with bioplastics) for Different Bio-based Plastics**

Project Number: **22007607**

Project Description: max. 2000 Zeichen

Today rapid prototype parts are required in all areas and are vitally important for the product development process. The wide range of Rapid Prototyping (RP) procedures and thus the choice of the materials to be used is limited. For the first time FABIO technology makes it possible to choose from a wide range of thermo-plastic granulates.
The main focus of research was the development of procedures and devices for processing bio-plastics using RP technology. The project comprised three main focuses: 1. The development of the RP procedure: Fused Extrusion Prototyping (FEP) for the processing of thermoplastic bio-based plastics in granulate form; 2. The adaptation of bio-plastics in powdered form on conventional sinter installations; 3. Procedural development for the processing of photo-sensitive duromeric bio-plastics; various reasons contributed to the fact that the first main focus of research gradually became the focal point. After initial research, the second and third main focuses of research were shelved and could no longer be realised. Considerable research and numerous analyses were carried out on the bio-plastics. A mini extrusion unit for melting and extruding the granulate material was developed and the first experiments were conducted. The "Archimedes" test equipment was set up for investigating the base settings, carrying out analyses and developing process parameters. In this way, any variations in the procedure could be immediately recorded and counter control measures could be taken. The extrusion unit was constantly adapted to the current demands, among other things, the development of software, control mechanisms and the construction of the basic equipment. The implementation of FABIO technology is imminent. After successful completion of the project, the aim is to take the innovative idea, which was a spin-off from Merseburg University of Applied Sciences, and turn it into a service platform for prototype parts.

Project Results: max. 2000 Zeichen

Different reasons contributed to the fact that **main focus 1** gradually became the focus of attention during the processing phase. Specific values for the processing of the bio-plastics were determined by carrying out different analyses. The extrusion unit was developed in such a way that granulates of all sizes can be processed. Temperature ranges are adjustable up to 300°C. The necessary cooling facilities were taken into consideration.

The "Archimedes" test equipment was well-suited to the development process. Different settings could be tested using selected bio-plastics and any deficiencies holding up the process could be remedied.

Some complex and individual parts for the internal design of the equipment were produced on RP machines, belonging to the university. The rack could be provided with inside superstructures, among other things, changing devices, a heating system, a cooling system, a granulate material supply, a construction platform, and procedural units in an X-, Y-, Z direction. The interaction of control mechanisms and software could be tested, irrespective of the materials used.

Main focus 2 – The difficulties arising concerning the procurement of the sinter installation proved to be an obstacle to the whole process. The procurement and the necessary overhauling of the equipment would have incurred costs which could not have been covered by the financial means provided by the sponsors. Alternative offers could not be found. Originally experiments were to be conducted after consulting a company manufacturing sinter parts, but bottlenecks during production prevented this from happening The procurement of the bio-plastics in powdered form proved to be very difficult and costly (1 kg costs approx. €600), due to the high expenditure for equipment used in the grinding process.

Main focus 3 – research was conducted on bio-based resins and connections with the manufacturers were established: Tests were carried out under processing conditions, but their practical realization proved to be complicated. Therefore, development of the method for the processing of photo-sensitive duromeric bio-plastics was stopped and could not be resumed in the given processing period.