

Projektabschlussbericht

Entwicklung einer industriellen Naturfaser-Pellet-Produktion zur Nutzung von Naturfasern als Verstärkung von (Bio-)Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion

(AZ: 27717-34)



Partner



Inhalt

Pressemitteilung zum Projektabschluss – Durchbruch beim Naturfaser-Spritzgießen: Zufuhr als Faserpellets löst Dosierprobleme	3
Projektvorstellung: Entwicklung einer industriellen Naturfaser-Pellet-Produktion zur Nutzung von Naturfasern als Verstärkung von (Bio-)Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion	7
Technische Grundlagen – Hochschule Bremen	25
Pelletierprozess – Badische Faserveredelung GmbH	49
Ökologische Analyse – nova Institut GmbH	61
Ökonomische Analyse – nova Institut GmbH	67
Verarbeitungstests – FKUR Kunststoff GmbH	83
Verarbeitungstests – H. Hiendl GmbH & Co. KG	93
Verarbeitungstests – Linotech GmbH & Co. KG	109
Verarbeitungstests - Fraunhofer-Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)	121
Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion – Ergebnisse der Untersuchungen	133

Projektleitung & Herausgeber

nova-Institut GmbH
Industriestr. 300
50354 Hürth
www.nova-institut.eu

Hürth, Oktober 2012

Der Report kann kostenfrei unter www.bio-based.eu/technology heruntergeladen werden

Durchbruch beim Naturfaser-Spritzgießen: Zufuhr als Faserpellets löst Dosierprobleme

Gefördertes Projekt konnte erfolgreich abgeschlossen werden, Hanffaser-Pellets stehen ab sofort zur Verfügung

Die Ergebnisse des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück, geförderten Projekts „Entwicklung einer industriellen Naturfaser-Pellet-Produktion zur Nutzung von Naturfasern als Verstärkung von (Bio-)Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion“ (AZ: 27717-34) stoßen bei der Industrie auf großes Interesse: Auf der abschließenden Fachtagung am 21. Mai 2012 in Köln zeigten sich Compoundeure, Spritzgießer, Extrudeure und Anwender aus der Kunststoff- und Automobilindustrie sehr angetan von den Hanffaser-Pellets. Mit der Produktion und Optimierung der Faserpellets ist es dem Projektpartner BaFa GmbH (www.bafa-gmbh.de) gelungen, das Problem der Dosierung von Naturfasern in die Prozesse der Kunststoffindustrie zu lösen. Die umfassenden Versuche der Industriepartner FKUR Kunststoff GmbH (www.fkur.com), Linotech GmbH & Co. KG (www.linotech.de) und H. Hiendl GmbH & Co. KG (www.hiendl.de) sowie des Fraunhofer WKI (www.wki.fraunhofer.de), die an der Hochschule Bremen (www.bionik.hs-bremen.de) ausgewertet wurden, zeigten, dass die Hanffaser-Pellets nicht nur gut dosierbar sind, sondern sich zudem gut und gleichmäßig in der Schmelze auflösen.



Abbildung 1: Hanffasern und Faserpellets

Prof. Dr. Jörg Müssig (HS Bremen, Bionik) untersuchte mit seinem Team die Eigenschaften der Hanffasern vor der Pelletierung, nach der Pelletierung, im Granulat und im Endprodukt ebenso wie die mechanischen Werte der Teststäbe und Endprodukte. Nur so war eine fortschreitende Verbesserung der Naturfaser-Pellets im Projekt möglich.

Grundsätzlich bringen Naturfasern höhere Steifigkeiten und Festigkeiten. Naturfasern in Form optimierter Pellets zuzuführen, bringt zusätzliche Vorteile, wie eine homogenere Verteilung der Fasern, geringere Faserschädigung und auch mehr längere Fasern.

Fasereinkürzungen treten hauptsächlich bei der Compoundierung und nicht bei der Pelletierung auf. Insgesamt zeigte sich: Je höher der Faseranteil und je besser das Ausgangsmaterial, desto besser die mechanischen Eigenschaften des Verbundwerkstoffs.

Projektleiter Michael Carus von der nova-Institut GmbH (www.nova-institut.eu) zeigte sich sehr zufrieden: „Endlich konnte der Flaschenhals der Naturfaser-Zuführung überwunden werden. Nun können auch Unternehmen mit wenig Erfahrung Naturfasern in Form von Pellets zuführen. Die Naturfaserpellets sind gerade hart genug, um Transport und Lagerung zu überstehen und weich genug, um sich in der Schmelze gut aufzulösen“.

Produzent BaFa bietet sowohl reine Hanffaser-Pellets an, als auch Pellets, bei denen bereits während der Pelletierung bis zu 40% Kunststoffe wie PP oder PLA sowie auf Wunsch Additive mit den Naturfasern gemischt werden. Ein überraschendes Ergebnis im Projekt: Pellets aus 60% Naturfasern und 40% PP konnten sogar ohne Compoundierung direkt in der Extrusion eingesetzt werden, was erhebliche Kosten und auch Prozessenergie spart.

Das nova-Institut untersuchte die Pellets in Hinblick auf die eingesetzte Prozessenergie und die zu erwartenden Marktpreise.

Ökologie

Der Primärenergiebedarf zur Produktion der Hanffaser-Pellets liegt mit 5,4 GJ/t verglichen mit anderen Materialien sehr günstig. Typische Kunststoffe liegen bei mindestens dem Zehnfachen. Interessant ist zudem, dass der Schritt der Pelletierung nur 0,4 GJ/t (4%) ausmacht. Die größten Anteile kommen von der Düngung (38%), von Landmaschinen (25%) und von der Faseraufbereitung (17%). Pestizide kommen beim Hanfanbau nicht zum Einsatz; bei anderen Kulturen tragen auch sie relevant zum Energiebedarf bei.

Dies bedeutet für den Einsatz der Hanffaser-Pellets: Der Energiebedarf zur Produktion von Hanffaser-Pellets ist nur geringfügig höher als der zur Produktion der Hanffasern. Unter ökologischen Gesichtspunkten kann daher „grünes Licht“ für den Einsatz der Pellets gegeben werden. Dabei ist noch zu bedenken, dass der zusätzliche technische Aufwand, die nicht-pelletierten Hanffasern zuzuführen, zusätzliche Energie benötigt und sich dann die Bilanz sogar zu Gunsten der Pellets verschieben kann. Werden die Pellets zusätzlich mit Kunststoffen und Additiven ausgerüstet, werden weitere spätere Prozessschritte ersetzt.

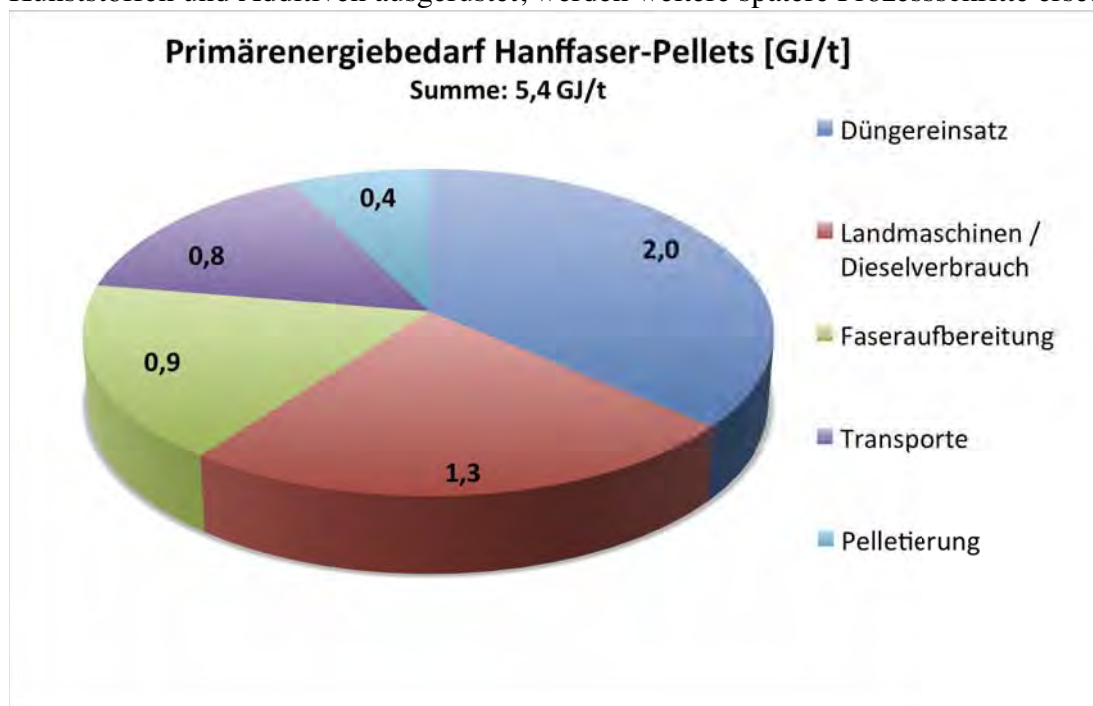


Abbildung 2: Primärenergiebedarf zur Herstellung von Hanffaser-Pellets nach einzelnen Prozessschritten

Ökonomie

Hier zeigte sich, dass die Marktpreise zu über 70% (bei Hanffasern, sofern bereits im Pellet mit Kunststoff gemischt, liegt der Anteil noch höher) von den Materialkosten abhängen. Je nach Zusammensetzung liegen die Preise für die Hanffaser-Pellets zwischen 1,00 und 1,20 €/kg – für die meisten industriellen Teilnehmer ein attraktiver Preis für die Lösung des Zufuhrproblems.

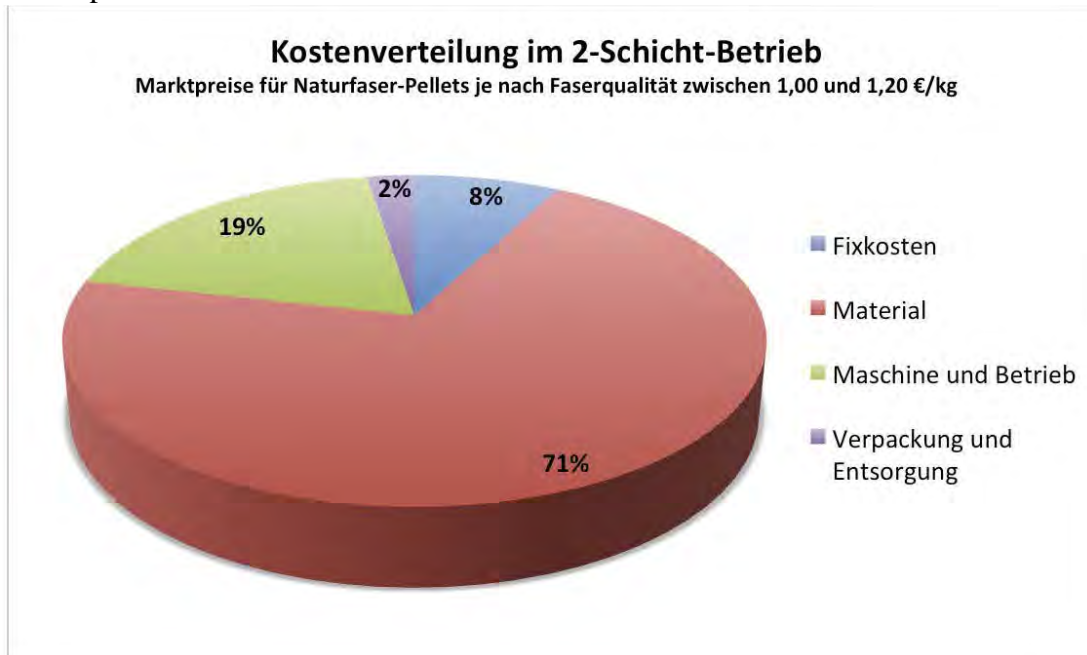


Abbildung 3: Relative Kostenanteile für Hanffaser-Pellets.

Bernd Frank, Geschäftsführer der BaFa GmbH, freut sich seit Bekanntwerden der Projektergebnisse über eine rege Nachfrage. Die Pelletanlage produziert bereits eifrig auf Kundenwünsche zugeschnittene Hanffaser-Pellets, mit und ohne Kunststoffe oder Additive.

Die umfangreichen Berichte zum Projekt, die eine Vielzahl an Prozess-Details und Materialprüfungen aller Projektpartner enthalten, sind kostenlos erhältlich unter:

www.bio-based.eu/technology

Bildmaterial (Quelle: nova-Institut) finden Sie unter folgendem Downloadlink:

www.bio-based.eu/technology/PM_Faserzufuhr-Abschlussbericht.zip

12-04-25_Faserpellets.jpg

12-07-31_Energiebedarf_Hanffaserproduktion.jpg

12-07-31_Kostenverteilung_im_2-Schicht-Betrieb.jpg

Kontakt BaFa GmbH:

Bernd Frank, info@bafa-gmbh.de, +49 (0)7246-92 575-0

Kontakt nova-Institut GmbH:

Lena Scholz, Lena.Scholz@nova-institut.de, +49 (0) 2233-48 14 48

Verantwortlich im Sinne des Presserechts (V.i.S.d.P.):

Dipl.-Phys. Michael Carus (Geschäftsführer)

nova-Institut GmbH, Chemiepark Knapsack, Industriestraße 300, 50354 Hürth

Internet: www.nova-institut.eu und www.bio-based.eu

Email: contact@nova-institut.de

Tel.: +49 (0) 22 33-48 14 40



Entwicklung einer industriellen Naturfaser-Pellet-Produktion zur Nutzung von Naturfasern als Verstärkung von (Bio-)Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion

gefördert durch



www.dbu.de

Gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung
Umwelt

1



Bio-based Economy – Bio-based Chemistry and Materials



- Raw Material Supply
- Techno-economic Evaluation
- Market Research
- Ecological Assessments
- Dissemination
- Policy

2



3



Downloads:



iBIB 2012/2013

1072 Downloads des Gesamt-PDFs / Number of downloads of the whole PDF

5791 Downloads einzelne Unternehmensprofile (PDF) / single company profiles (PDF)

New issue iBIB2012/13
80 subscribers (+15%)

Book, App (iPad), PDF & Online-Database



BIB 2009

1616 Downloads



BIB 2010

4440 Downloads



iBIB 2011

2782 Downloads Gesamt-PDF / whole PDF

16561 Downloads einzelne Unternehmensprofile (PDF) / single company profiles (PDF)

4



www.bio-based.eu



Welcome to the International Business Directory for Innovative
Bio-based Plastics and Composites: IBIB2012/2013

Full PDF Download

Order your IBIB2012/2013 book

Index Search

Reset Selection

Main Index

Institution

- ☐ Suppliers
- ☐ Associations and Agencies
- ☐ Engineering
- ☐ R&D and Consultants

Field of activity

- ☐ Renewable Raw materials
- ☐ Bio-based Plastics for disposable applications
- ☐ Bio-based Plastics for durable applications
- ☐ Elastomers / Natural Rubber
- ☐ Natural fibre reinforced plastics
- ☐ Wood Plastic Composites and other Cellulose-reinforced plastics
- ☐ Green Additives
- ☐ Other

Application areas

- ☐ Agriculture & Horticulture
- ☐ Automotive
- ☐ Building and Construction
- ☐ Consumer electronics and electronics
- ☐ Consumer goods
- ☐ Household articles and toys
- ☐ Packaging
- ☐ Personal hygiene
- ☐ Other

Products

- ☐ Precursor
- ☐ Granules
- ☐ Semi-finished goods
- ☐ Finished goods
- ☐ After treatment
- ☐ Other

Renewable Raw Materials

- ☐ Base chemicals
- ☐ Building blocks
- ☐ Natural fibres
- ☐ Wood and other cellulosic material
- ☐ Other

Plastic types

Thermoplastics

- ☐ Cellulose based
- ☐ Lignin based
- ☐ Polybutylene Adipate
- ☐ Terephthalate (Bio-PBAT)
- ☐ Polybutylene Succinate (Bio-PBS)
- ☐ Polyethylene / Polypropylene (Bio-PE / PP)
- ☐ Polyvinylchloride (Bio-PVC)
- ☐ Polylactic Acid (PLA)
- ☐ Polyhydroxyalkanoates (PHA)
- ☐ Polyamides
- ☐ Starch based
- ☐ Other Thermoplastic Polyesters
- ☐ Other Thermoplastics

Thermosets

- ☐ Polyurethane (PU)
- ☐ Epoxy
- ☐ Unsaturated Polyesters
- ☐ Other resins

Foams

- ☐ Thermoplastic foams
- ☐ Thermoset foams
- ☐ Particle foams
- ☐ Other

Elastomers

- ☐ Thermoset Elastomers
- ☐ Thermoplastic Elastomers

Green additives

- ☐ Adhesive agents / Glues
- ☐ Anti yellowing
- ☐ Binder / Emulsifier
- ☐ Chain extenders
- ☐ Coatings / Lacquers / Finish
- ☐ Colours / Pigments
- ☐ Densifying aids
- ☐ Flame retardant
- ☐ Impact modifiers
- ☐ Plasticizer
- ☐ Processing aid
- ☐ Protection against biological infestation
- ☐ Stabilizers
- ☐ Other

Special Properties

- ☐ Antistatic
- ☐ Breathability
- ☐ Bio-degradable (DIN EN 14851/2)
- ☐ Compostable (DIN EN 13432)
- ☐ Flame retardant
- ☐ Food safe
- ☐ Insulating
- ☐ Odour free
- ☐ Thermoset (over 100 °C)
- ☐ Vibration- and sound-isolating
- ☐ Water resistant
- ☐ Other

Processing types

- ☐ Blow moulding
- ☐ Blown film extrusion
- ☐ Calendering
- ☐ Compounding
- ☐ Compression moulding
- ☐ Extrusion
- ☐ Film extrusion
- ☐ Injection moulding
- ☐ Prototype building
- ☐ Special processing
- ☐ Thermoforming
- ☐ Other

Research & Development and Consultants

- ☐ Biotechnology
- ☐ Chemical research
- ☐ Technical / Process-related research
- ☐ Life Cycle Assessment / Sustainability Studies
- ☐ Market Research and Development / Consultancy
- ☐ Publication

Suppliers, Engineering, Associations and Agencies, R&D and Consultants



Established
service:

[www.bio-based.eu/
news](http://www.bio-based.eu/news)

new price
495,- €/year

Pictures (left to right): Teijin, Polyone, Staedter, Propper, Biolox, Fujitsu, Werzallt

Bio-based News

The portal for bio-based economy,
bio-based plastics & composites and industrial biotechnology

Get a comprehensive overview about recent
developments in the field of biomaterials and industrial
biotechnology: fast – exclusive – solid – relevant

- * online portal with daily news articles
- * weekly newsletter
- * supplier & stakeholder directory (more than 2,000 entries)
- * data base with 10,000 news
- * full text and index search

Your unique source of expert information on bio-based
plastics & composites, industrial biotechnology,
biorefineries and green chemistry

- * new investments
- * new product placements
- * market data
- * policy framework
- * Research & Development

One year subscription for only: 1,000 € plus 19% VAT. The search engine as well as all keywords are fully available in English and German. The news articles themselves are 60% in English and 40% in German.

www.bio-based.eu/news

TYPICAL NEWS

- * **NEW** Clariant plans acquisition of Süd-Chemie AG [2011-02-16]
Cooperation to focus on innovation and growth in emerging markets
- * **NEW** Clariant AG plant Erwerb der Süd-Chemie AG [2011-02-16]
Zusammenarbeit soll Forschung in den Zukunftsmärkten Neue Materialien und Biotechnologie stärken
- * **NEW** Novozymes sucht zweites Standbein im Biobusiness [2011-02-16]
Kauf der EMD-Agrosparte des Chemiekonzerns Merck KGaA erlaubt neue Wachstumsziele
- * **NEW** LANXESS steps up commitment to biobased raw materials [2011-02-15]
10-year exclusive supply agreement with Gevo
- * **NEW** Coca-Cola says biodegradable packaging „not a viable option“ [2011-02-15]
New report from Zenith International finds not all manufacturers to agree with





Natural Fibre Injection Moulding and Extrusion

7

7



Bio-Composites in the EU 2010 (in tonnes)

	Estimated Quantities in the EU 2010	Forecast EU 2020 (under favourable political framework)
Compression moulding	190,000	370,000
- with natural fibres (flax, hemp, kenaf, jute, sisal, abaca, coir): (>95% automotive)	40,000	120,000
- with cotton fibres: automotive, mainly lorries	100,000	100,000
- with wood fibres (WPC): mainly automotive	50,000	150,000
Extrusion and injection moulding	172,000	550,000
- Wood Plastic Composites (WPC): construction, furniture, automotive, consumer goods	167,000 (incl. Norway & Switzerland)	450,000 (incl. Norway & Switzerland)
- Natural Fibres Reinforced Plastics: construction, furniture, automotive, consumer goods)	5,000	100,000
Bio-Composites in total	362,000 (= 14%)	920,000 (= 29%)
Composites in total (glass, carbon, natural fibres & wood)	2.5 Million	3.2 Million

Source: nova-Institut 2010 & 2011, AMI 2011, AVK 2010, Ellis, P. 2010

8



Automobiles

NFRP injection moulding



Audi

Glove box, first NFRP series unit (Audi A2)

- Natural fibre proportion 20 to 50 %
- Mostly hemp fibres
- Numerous possibilities, e.g. back-extruding of textiles
- Technology with a high potential



MöllerTech

New developments

Source: nova-Institut 2008

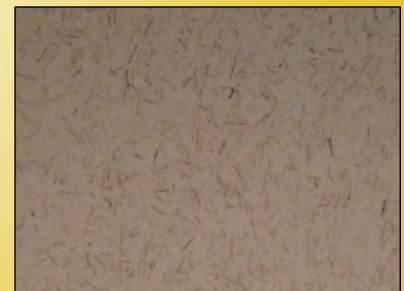
9



Ford Brazil 2009

Injection Molding

- Compound: Up to 50% of Recycled Polypropylene (PP) + 20% PP Prime + 30% Sisal Fiber)
- Application: Interior trim and non-appearance parts
- Allows weight reduction (according to application)
- Injection temperature reduced by 40° to 60° C
- Cycle time reduced by 15% to 30% depending on the tooling



Source: Ford 2009, nova 2009

10



Cases and Urns

Compressing and injection moulding

Mobile Phone Case
from
Kenaf Fibre
and PLA
(Japan)



FOMA-N701iECO



Urn from
Hemp Fibre and PLA (Germany)

Innovation



Cases, natural fibre and polypropylene,
compress moulding (Germany). Pictures: Hempro
International, Winter & Linotech



Urn, hemp fibre and bioplastics, compress
moulding or injection moulding (Germany).
Picture: nova-Institut

Sources: Linotech 2007, NEC/Unitika 2009, EIHA 2009

11



New Consumer Goods

Injection moulding



BioCharger (GreenGran, NL/China)
Jute Fibre PP Injection Moulding



Ironing board (Domena, France)
Hemp Fibre Injection Moulding

Sources: GreenGran 2010, Domena 2010

12



Tecnaro (Germany)

Injection moulding with natural fibres & Lignin (!)



Picture: Sergio Rossi, Gucci Group, Italien



Lenkradsegmente mit lackierter ARBOFORM Sichtoberfläche



Lautsprecher aus Arboform der Fa. Tecnaro GmbH, Bildquelle: Fraunhofer ICT

Pictures: Tecnaro 2009

13

N026J: engineering grade

Property	Test Condition	Typical values	Unit
Melt Flow Rate	200°C, 10kg 2 mm die	5	g/10min
Density		1.11	g/cm³
Flexural Strength		89	MPa
Flexural Modulus	23°C, 50%	4,900	MPa
Flexural Elongation		2.9	%
Deflection Temperature under Load	45N/cm	156	°C
	182N/cm	134	

GG N026J

Engineering grade. Granules based on polypropylene and natural fibres, which combines very high stiffness and strength with moderate impact strength. Its excellent thermal properties and dimension stability make it suitable for storage and use under high temperature conditions. Typical markets are within automotive-, construction-, and industrial applications.

Contact us for advice

It is not always easy to select the grade which most fit to your product specs. Our [experts](#) have a long tradition in polymer material properties, bio-plastics and how to process these into products. Please [contact](#) us for further help, or mail us: info@greengran.com.



P023J: 100% Bio-based engineering grade

Property	Test Condition	Typical values	Unit
Melt Flow Rate	190°C, 10kg 2 mm die	5.5	g/10min
Density		1.31	g/cm ³
Flexural Strength		105	MPa
Flexural Modulus	23°C, 50%	6,200	MPa
Flexural Elongation		1.8	%
Charpy Impact, unnotched		12	kJ/m ²
Charpy Impact, notched	23 °C, 50%	3	kJ/m ²

GG P023J

Fully bio-based engineering grade. Granules made from PLA and natural fibres, which combines ultra high stiffness and ultra high strength with moderate impact strength. Suitable for production of complex articles with long flow paths and thin walls. Excellent processability, good surface finishing, easy to mix with bio-based colour masterbatches. Typical markets are within toys-, consumer articles-, construction- and rigid packaging applications.

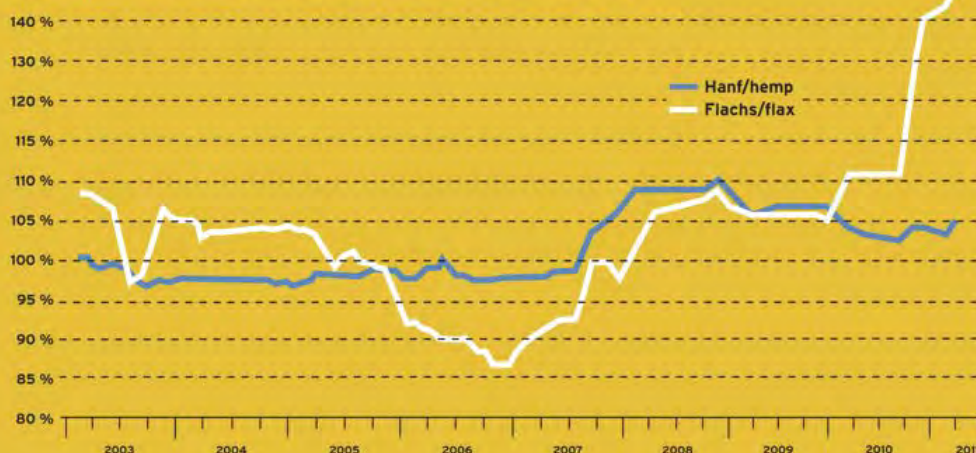
Contact us for advice

It is not always easy to select the grade which most fit to your product specs. Our [experts](#) have a long tradition in polymer material properties, bio-plastics and how to process these into products. Please [contact](#) us for further help, or mail us: info@greengran.com.



Latest trends in automotive: From flax to hemp

Price index: Hemp and flax technical short fibres



100 % equal the price of technical hemp short fibres in March 2003. Basis: Supply of 100 t per year.
Sources: nova-Institute GmbH on the basis of bi-monthly price reports from: Agrofibre SAS (F, since 2009), Badische Naturfaseraufbereitung BaFa GmbH (D), Hemp Technology Ltd. (UK), HempFlax B.V. (NL), Holstein Flachs GmbH (D), Linolitas (LT, until 2007-12), NAFGO GmbH (D, until 2008), Procotex SA Corporation (B, until 2005-10), Sachsen-Leinen GmbH (D, since 2003-10), SANECO (F, until 2008).

Source: nova-Institut 2011



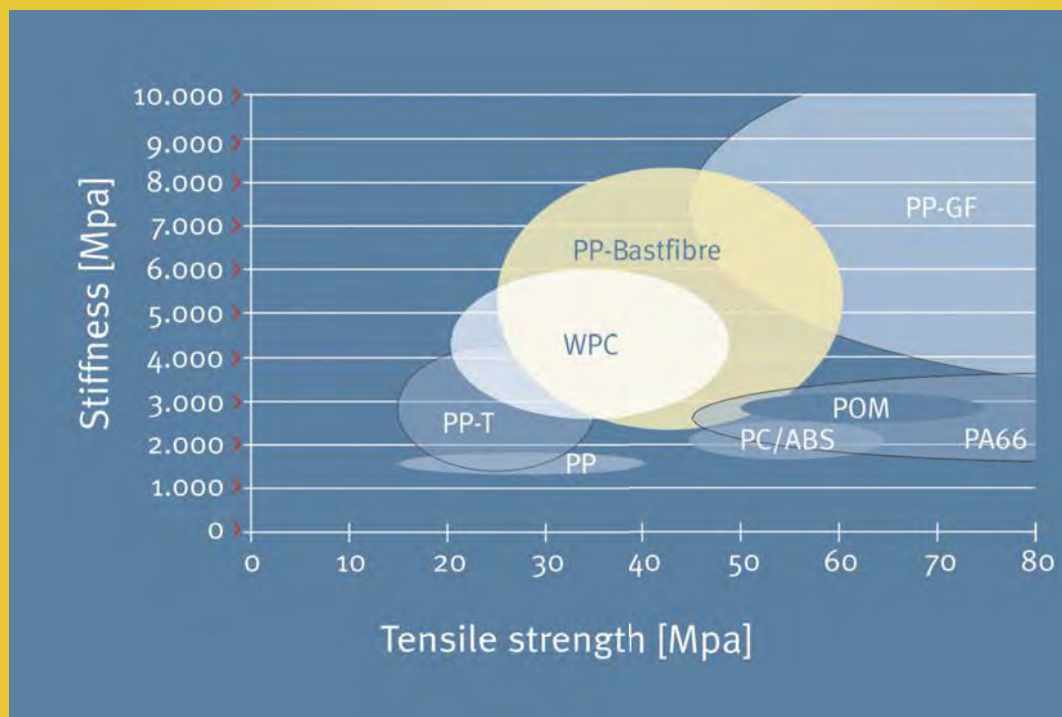
Die wichtigsten Einflussfaktoren für Steifigkeit und Festigkeit sowie Schlagzähigkeit

- **Reißfestigkeit** der Holz- bzw. Naturfaser
- **Schlankheitsgrad** – das Länge-Durchmesser-Verhältnis – Füllstoff oder Verstärkungsfasern
- **Faser-Matrix-Haftung** – der richtige Haftvermittler
- **Schlagzähigkeit** – hier spielen Faserlänge und Kraft-Weg-Charakteristik der Fasern eine wichtige Rolle

17



Injection Moulding - Mechanical Properties I

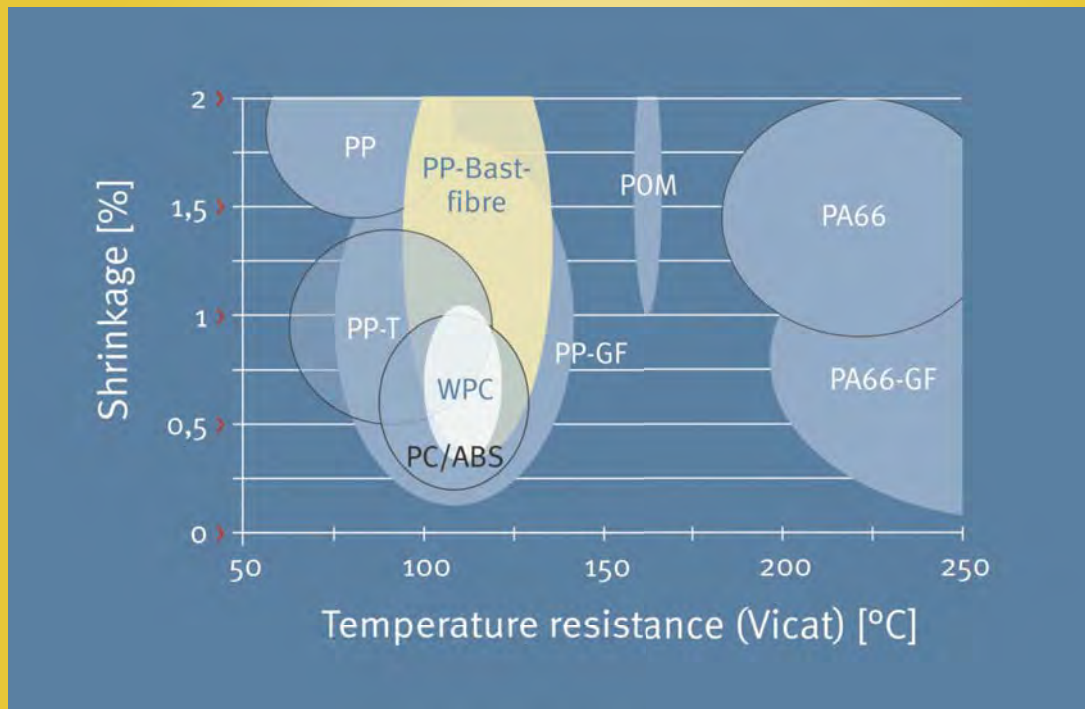


Source: nova-Institut 2008

18



Injection Moulding - Mechanical Properties II

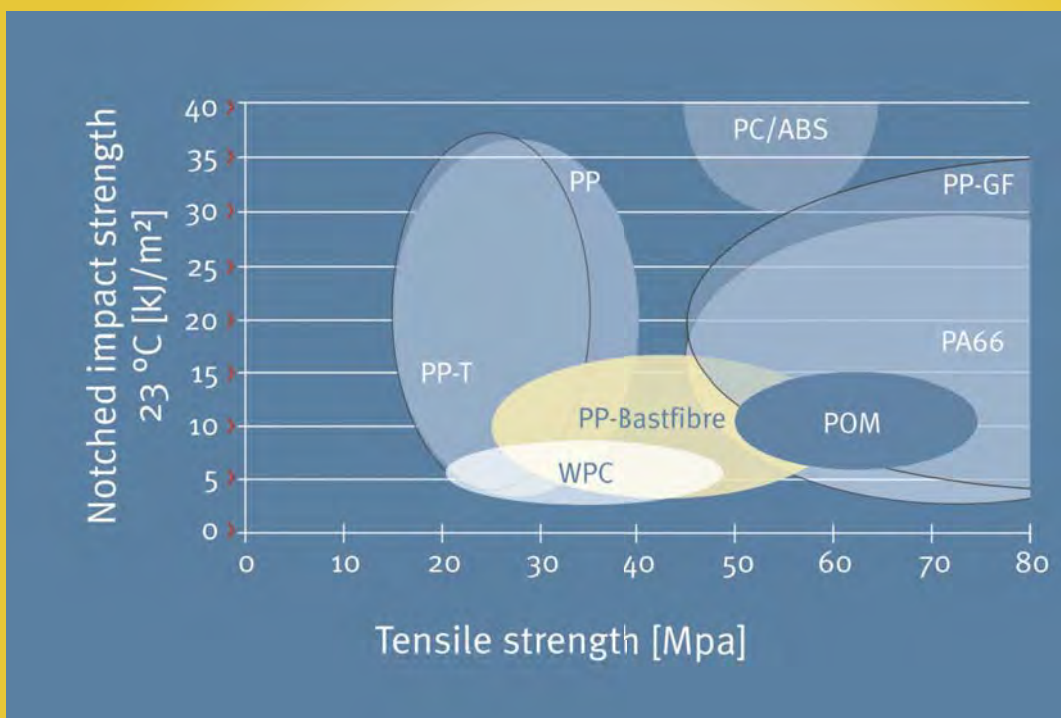


Source: nova-Institut 2008

19



Injection Moulding - Mechanical Properties III



Source: nova-Institut 2008

20



high potential for technical substitutions

summary: natural fibre injection moulding compared to other materials

Why is there a potential for technical substitutions?

- >> very low shrinkage at a low price
- >> good accoustic quality
- >> contrary to PC/ABS no static noises
- >> easy combination with other PP-based components
- >> minor abrasion
- >> higher stiffness and strength compared to non-reinforced polymers
- >> minor tendency to burst
- >> good thermal stability
- >> lower density than glass fibre reinforced polymers
- >> contrary to glass reinforced polymers approved for use with foods
- >> low processing temperature ($< 185^{\circ}\text{C}$)



Fibre-PP adhesion in literature & industry

Effect of MAPP on flexural properties of natural fibre-PP composites in literature.

Fibre, content	Reference	modulus (GPa)		strength (MPa)	
		PP	PP/MAPP	PP	PP/MAPP
Flax, 30%	Snijder, 2000			48	54-75
Flax, 30%	Keener, 2004			49	53-81
Flax, 30%	Bos, 2006	2.8-4.0	3.0-3.6	50	80
Flax, 50%			4.5-5.5	50	100

Effect of MAPP on tensile properties of natural fibre-PP composites in literature.

Fibre, content	Reference	E-modulus (GPa)		strength (MPa)	
		PP	PP/MAPP	PP	PP/MAPP
Flax, 30%	Keener, 2004			33	36-53
Flax, 30%	Bos, 2006	4.5	3.8-5.5	33	45-55
Flax, 50%	Bos, 2006		5.8-6.0		50-65
Hemp, 40%	Beckermann, 2007	4.8	4.3	31	38

- MAPP is best commercial solution to improve fibre-PP adhesion to date.
- MAPP can increase flexural and tensile strength of PP composites by 100 and 60%, respectively.



Effect of plasma treatment on tensile properties of natural fibre-PP composites in literature.

		E-modulus (GPa)		Tensile strength (MPa)	
		Untreated	Treated	Untreated	Treated
20 wt.% wood	Yuan, 2004	2.7	2.9-3.3	22	25-27
20 wt.% sisal	Yuan, 2004a	2.6	2.9-3.1	22	24-26
20 wt.% hemp	Ragoubi, 2010	1.1	1.2	29	38
30 wt.% hemp	Ragoubi, 2010			23	32
30 wt.% wood	Belgacem, 1994	0.99	1.1-1.5	21 #	22-26 #
30 wt.% sisal	Martin, 2003	2.6	2.7	24	23
30 wt.% sisal	Martin, 2003	2.6	3.1	24	30

Fibre grade	Author	Power (W)	Voltage (kV)	Time (s)	Pressure (Pa)
sisal	Yuan, 2002	40-120		30-120	133-400
wood	Yuan, 2004	40-120		30	266
sisal	Yuan, 2004a	40-120		30	266
hemp	Ragoubi, 2010		15	900	'vacuum'
wood	Belgacem, 1994	15-35 mA	11-14	30-180	Not specified
sisal	Martin, 2003	200		150	35
HDPE	Martin, 2003	300		300	27
wood	Mahlberg, 1998	200		120-480	27
PP	Mahlberg, 1998	60-100		15-45	33-40

- Plasma treatment has positive effect on composite mechanical properties, however, all literature data found are based on low pressure and/or small reactor cells.



Entwicklung einer industriellen Naturfaser-Pellet-Produktion zur Nutzung von Naturfasern als Verstärkung von (Bio-)Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion

gefördert durch



www.dbu.de

Gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung
Umwelt



Ausgangslage & Projektidee

- Heimische Naturfasern wie Hanf und Flachs lassen sich im Compoundierprozess nicht einfach zuführen. Dies stellt eine erhebliche Hürde für den verstärkten Einsatz von Naturfasern in der Kunststoffindustrie dar.
- In der Regel werden modifizierte Fasern, spezielle Systeme (Stanzen aus Faservliesen etc.) oder Kardenbänder (vor allem bei F&E) verwendet, die sehr prozess- und kostenintensiv sind.
- Die Pelletierung von Naturfasern könnte hier eine interessante Lösung darstellen: Gute Dosierbarkeit, gute Auflösung beim Compoundieren und vertretbare Kosten. Und: Hunderte von Granulat-Produzenten könnten bei Erfolg Naturfasern für ihre Compounds einsetzen.

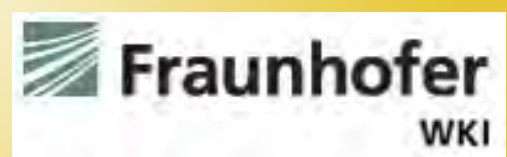
25



Projektpartner



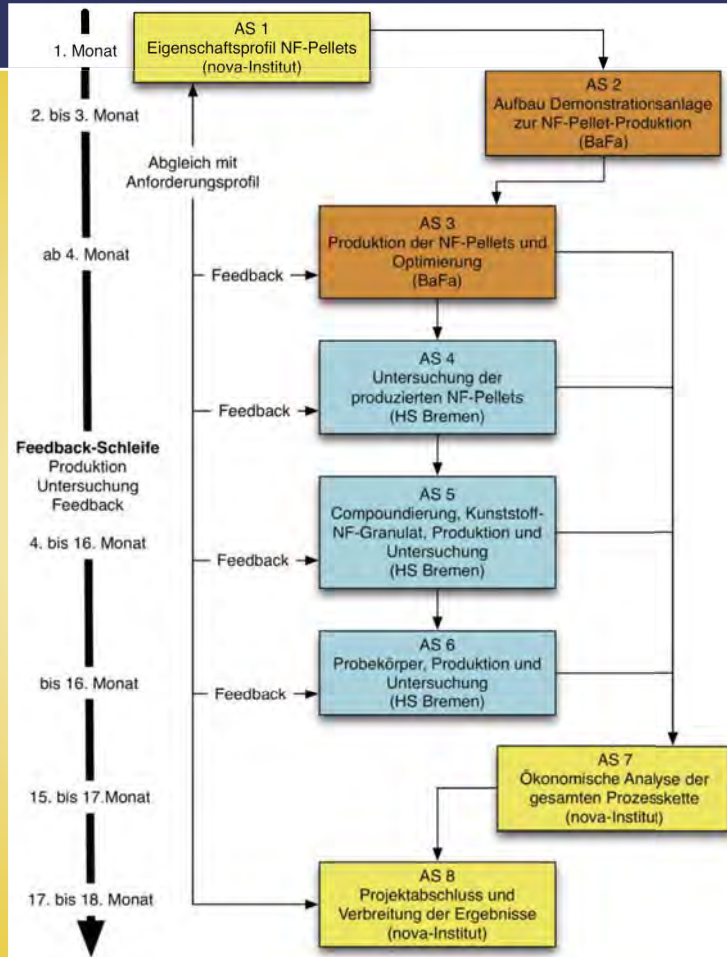
Compoundeure



26



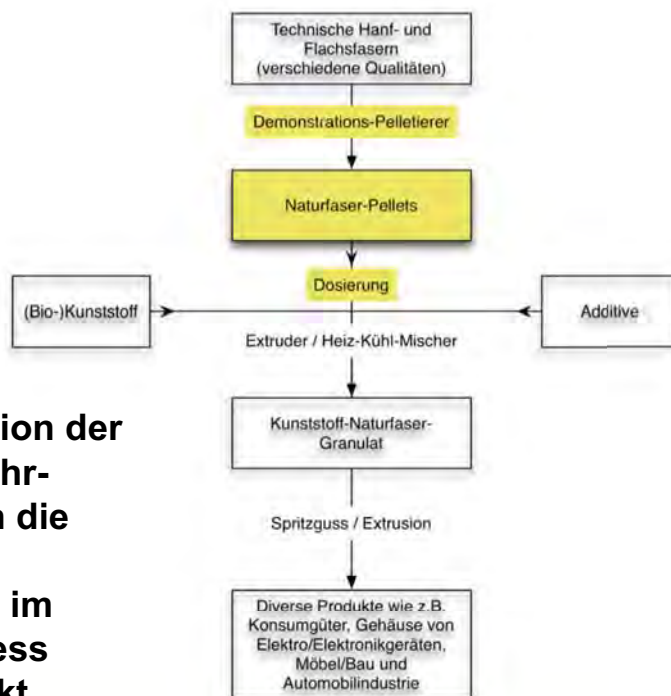
Projektablauf



27



Prozesskette



GELB markiert: Die aktuellen Flaschenhälse (bottle necks), die das Projekt überwinden möchte

28



Problem: Faserzufuhr Lösung: SoftPellets?



Picture: nova 2010

29



Pellet-Eigenschaften



30



Hanffasern pelletieren (BaFa)

- Kostengünstig und einfach zuzuführen
- Problem wird von der vorgelagerten Stufe in der Wertschöpfungskette gelöst
- Für den Compoundeur einfach zu verarbeiten und vor allem gut zu dosieren
- Versuche ohne und mit unterschiedlichen Bindemitteln gefahren und getestet

31



Eigenschaften der „Softpellets“

- Fest genug für Stabilität bei Lagerung, Transport, Trocknung und Zuführung
- „Soft“ genug für gute Auflösung und Verteilung im Compoundier/Extrudiervorgang
- Gute mechanische Verstärkungswirkung in Testkörpern und Produkten

32



Projektergebnisse

- Hanffasern sind pelletierbar, Versuche mit anderen Fasern ebenfalls erfolgreich; gleichmäßige Zudosierung von Polymeren und Additiven erfolgreich realisiert.
- Halbautomatisierte, industrielle Pelletieranlage mit einem Output von bis zu 900 kg/h konzipiert und in Betrieb genommen sowie optimiert.
- Gravimetrische Dosierung der Pellets möglich.
- Vortrocknung der Naturfasern vereinfacht.
- Dispergierung in der Kunststoff-Schmelze und homogene Verteilung erreichbar.

33



Projektergebnisse

- Reproduzierbare Pelletqualitäten erzielt.
- Granulierung des Compounds erfolgreich.
- Mechanische Eigenschaften der Probekörper zeigen zufriedenstellende Verstärkungswirkung der Fasern, Ansätze für Verbesserungen wurden erarbeitet.
- Pellets wurden von verschiedenen Interessenten auf Industrieanlagen ebenfalls erfolgreich getestet.
- Ökonomie: Zielpreis von 1,10 – 1,30 €/kg konnte eingehalten werden.
- Ökologie: Geringer Energiebedarf des Pelletierprozesses im Vergleich zu bisherigen Lösungen.

34



Pelletieranlage

Pelletierer und
Rüttelsieb

Einfache, robuste
und preiswerte
Verfahrenstechnik



35

Naturfaser-Pellet-Produktion – Vorstellung der technischen Analyse

Jörg Müssig & Katharina Haag

Hochschule Bremen – Fakultät 5, Abteilung Bionik – Biologische
Werkstoffe



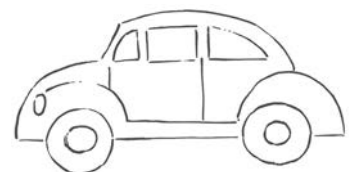
Abschlussbericht

Juni 2012



Übersicht

- NFK im Automobil / Geschichte & aktuelle Trends
- Herausforderungen & Visionen
- Analyse von NF-Compoundierverfahren
- Herausforderungen im Bereich NFK-Spritzguß
- Analyse der Verfahren zur Pressagglomeration
- Prozesskette: Naturfaserpellets
- Zusammenfassung & Ausblick



Ziel der technischen Analyse

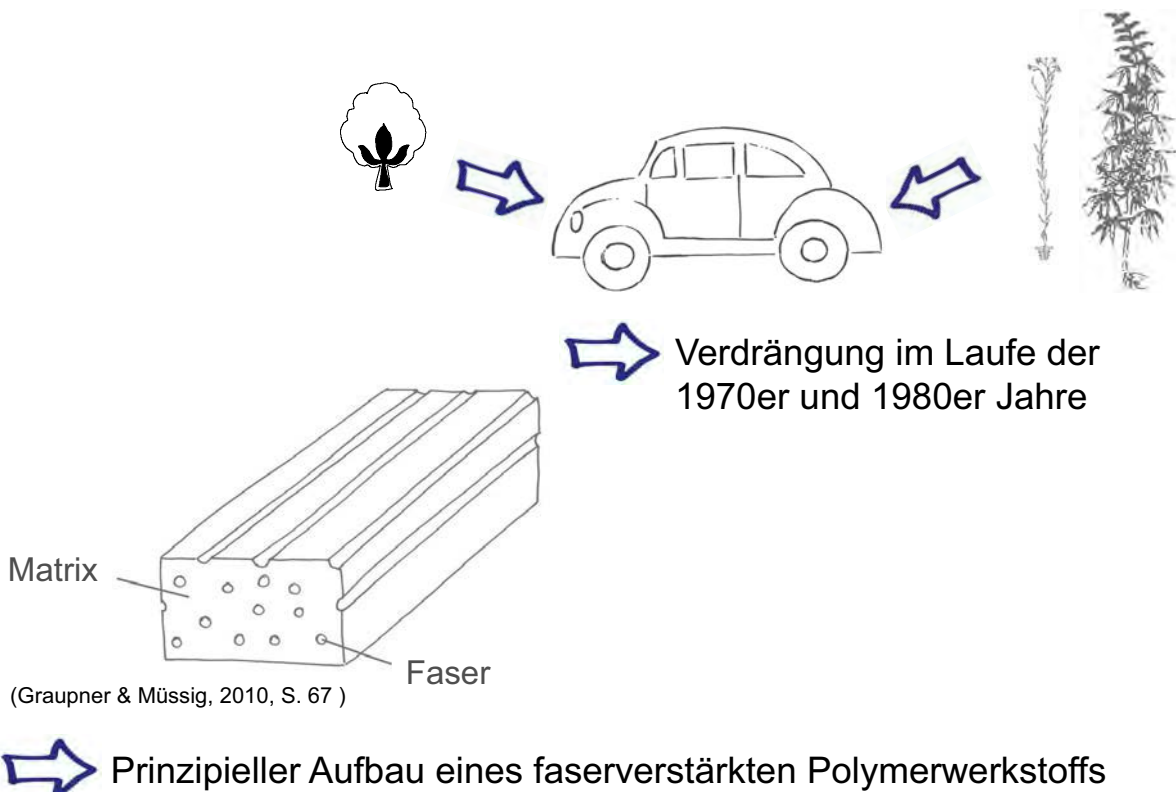
- NFK im Automobil / Geschichte & aktuelle Trends -

In diesem Abschnitt soll der technische Hintergrund für einen Einsatz von Naturfasern in Thermoplasten beleuchtet werden. Der Schwerpunkt der Anwendungen liegt auf dem Automobilbereich. Die Trends im Automobilbereich werden beleuchtet und es werden die Herausforderungen für einen breiten Einsatz von Naturfaserverbundwerkstoffen analysiert.

3

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Polymere Verbundwerkstoffe im Automobil



4

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Werkstoffe & Innovationsschübe

➔ Werkstoffe mit neuen oder verbesserten Eigenschaften
&
entsprechende Fertigungsverfahren.

➔ bekannte Werkstoffe
&
neue Verfahren
&
veränderte Rahmenbedingungen.

(Grunwald, 1999)

5

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Wiederaufnahme des Einsatzes von Naturfasern

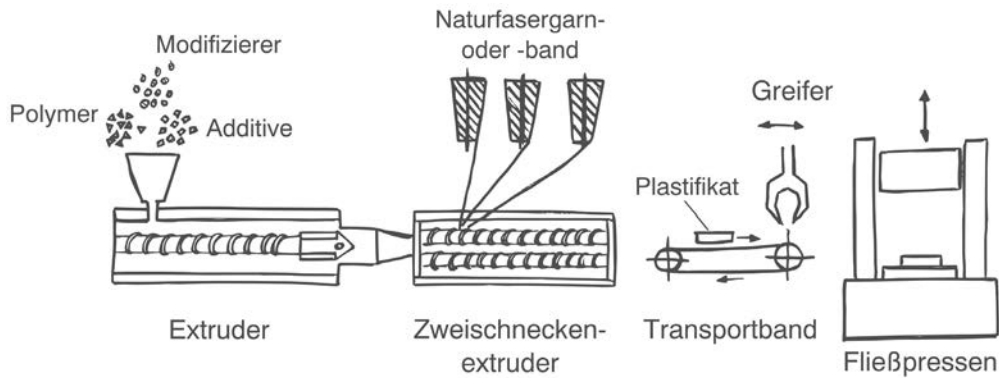
- positives Marketing und Image
- werkstoff- und verarbeitungstechnische Aspekte
- durch die niedrige Dichte der Pflanzenfasern Reduzierung der Masse der Bauteile
- hohe Steifigkeit & Festigkeit heimischer Pflanzenfasern
- hohe spezifische Steifigkeit der hergestellten Bauteile
- Erhöhung des Aufprallschutzes (verringerte Splitterneigung)
- zum Teil Kostenersparnis bei der Herstellung und der Rohstoffbeschaffung
- Verbesserung des Arbeitsschutzes
- Einsatz *Nachwachsender Rohstoffe*
- CO₂-reduzierte Herstellung
- Schonung fossiler Ressourcen



6

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Naturfasern / Außenbauteil



(Huber et al., 2010, S. 416)



(Daimler Chrysler, 2005)

➔ Die erste NFK-Außenanwendung?

Naturfasern / Außenbauteil

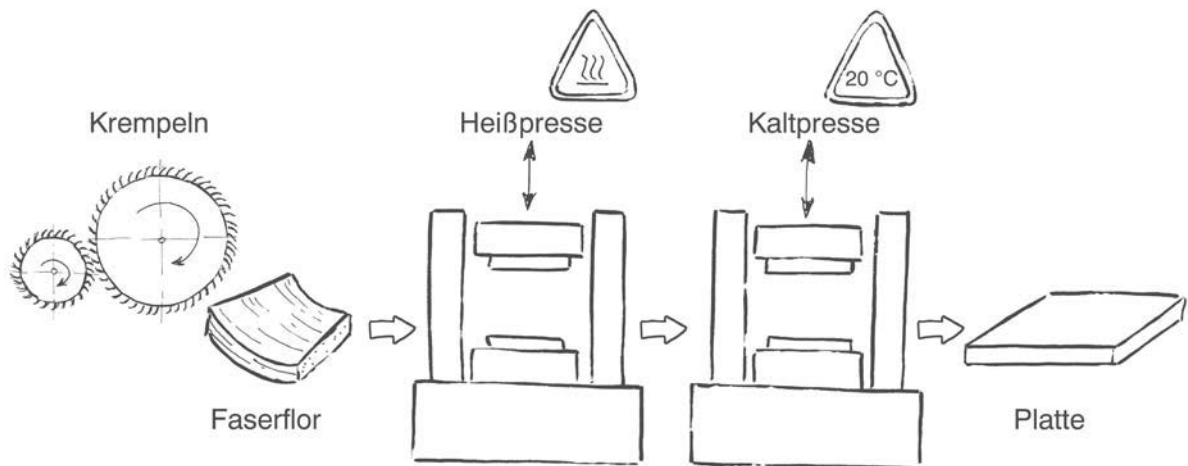


(Sonntag & Barthel, 2002)

Cotton/Phenolharz-
verbunde im Trabant



Formpressteile im Automobil



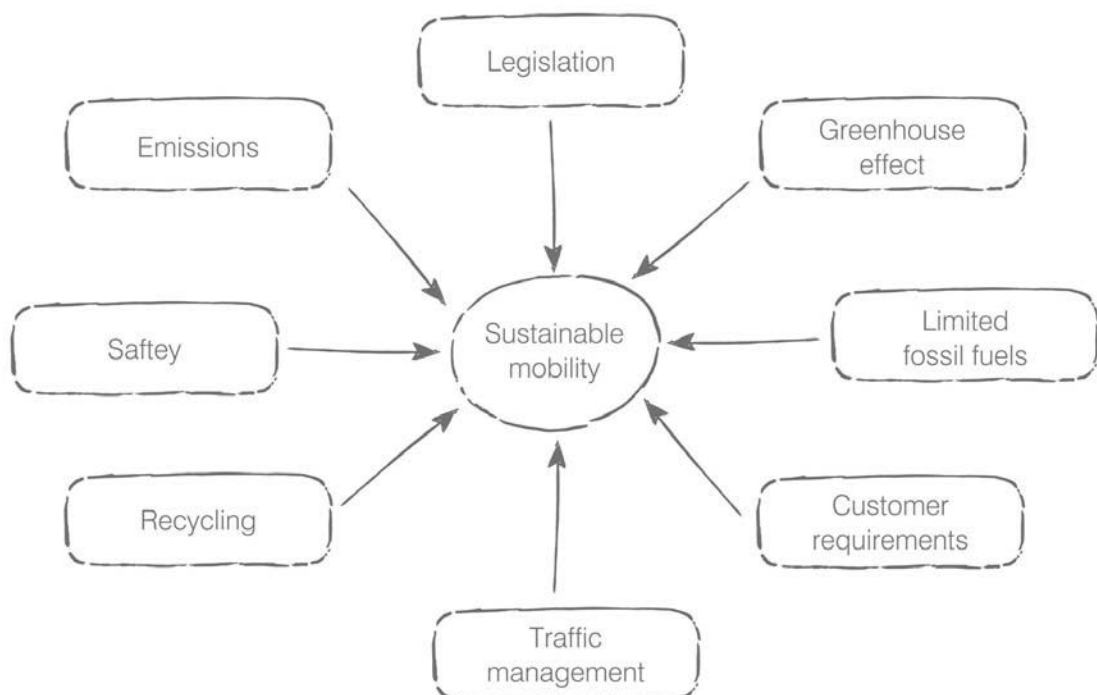
➔ Naturfaserverarbeitung vom Krempeln über das Formpressen zum fertigen Bauteil.

(Müssig et al., 2011)

9

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Trends im Automobilbau



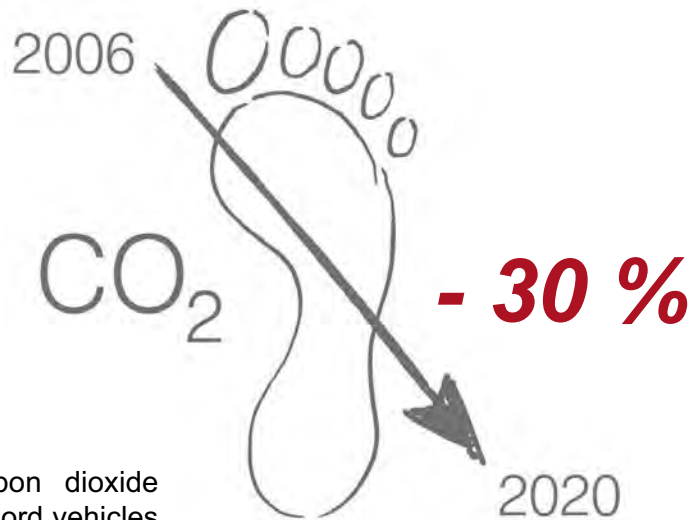
➔ „Major future challenges“ des Automobilherstellers Ford.

(Magnani & Wehmeyer, 2010 .- veränderte Darstellung)

10

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Trends im Automobilbau



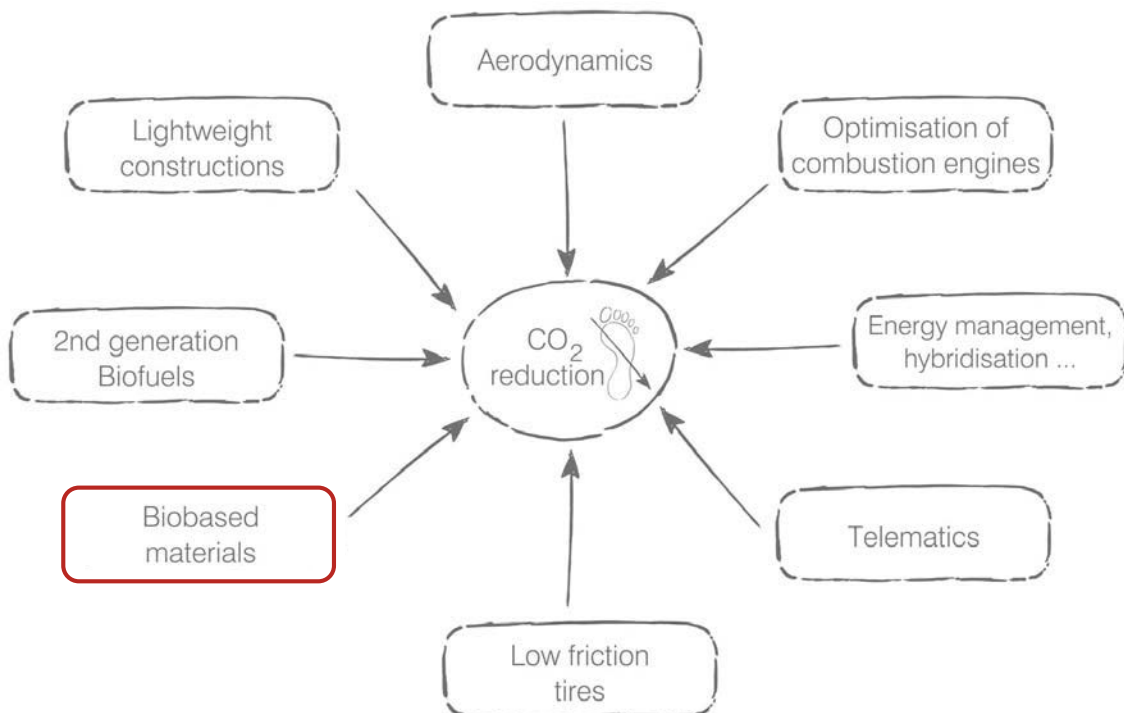
Reduction of carbon dioxide emissions of new Ford vehicles until 2020 (Europe & USA)



Ford: „FMC goal: less carbon dioxide emissions“.

(Magnani & Wehmeyer, 2010 .- veränderte Darstellung)

Trends im Automobilbau



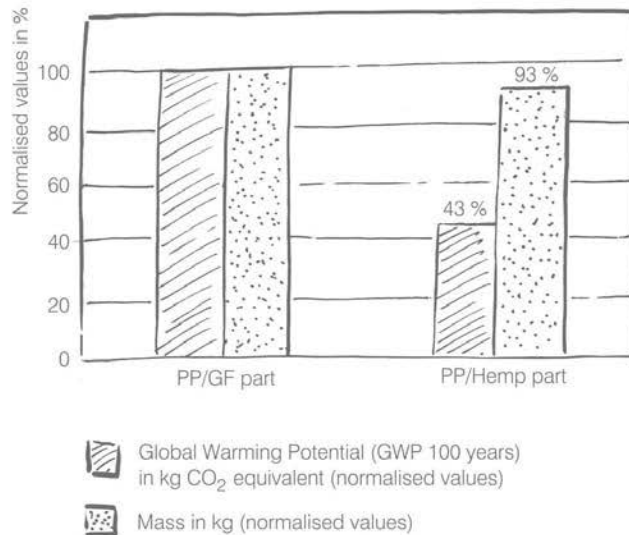
Ford: „Building blocks of the carbon dioxide reduction“.

(Magnani & Wehmeyer, 2010 .- veränderte Darstellung)

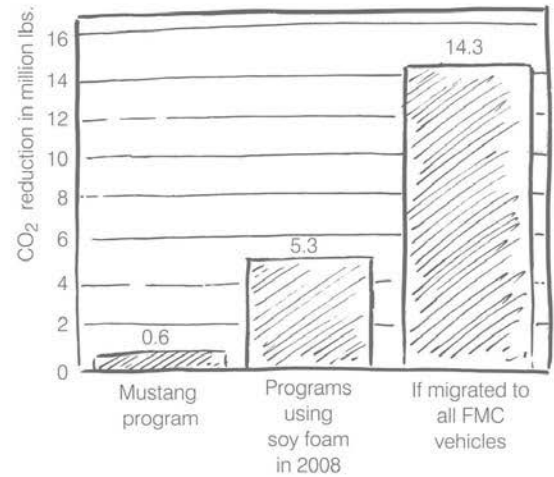
Trends im Automobilbau

NFK im Automobil / aktuelle Trends

PP/GF vs. PP/NF



Soy-based polyurethane foam



Ford: „carbon dioxide reduction by using biobased materials“.

(Magnani & Wehmeyer, 2010 .- veränderte Darstellung)

13

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

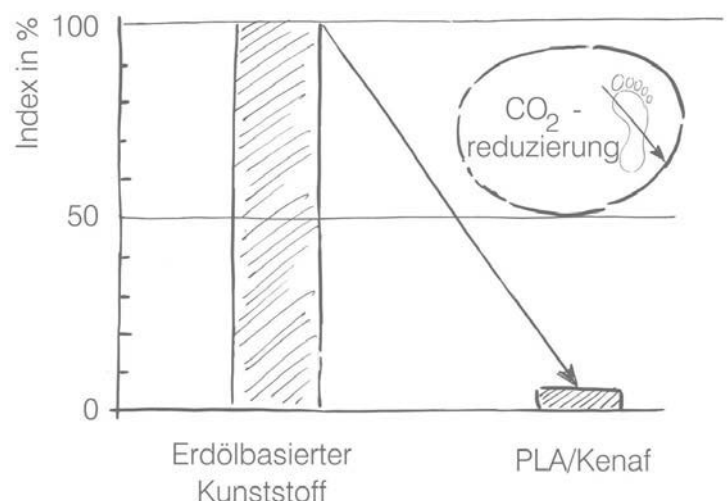
Automobilanwendungen aus PLA/Kenaf

NFK im Automobil / aktuelle Trends

- Reserveradabdeckung im Toyota RAUM (2003) aus Kenaffaser-verstärktem PLA.
- Eine LCA für das Bauteil zeigt ein CO₂-Reduzierungspotenzial von 90 %.



(Anonym, 2007 - veränderte Darstellung)



14

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Naturfasern – technisches Einsatzpotenzial

PP/NF-Anwendungen



**Automobile PP/NF-
Spritzguss-Bauteile**



the Beauty & the Beast

(Richter et al. 2010, Magnani, 2010)

NFK im Automobil / aktuelle Trends

15

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Naturfasern – technisches Einsatzpotenzial

PP/NF-Anwendungen



**Automobile PP/NF-
Spritzguss-Bauteile**



the Beauty & the Beast

(Magnani, 2010)

NFK im Automobil / aktuelle Trends

16

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

NF/PP – Einfluss der PP-Sorte



Produkt	Faser	Faser-anteil [%]	Dichte [g/cm³]	E-Modul [GPa]	Zugfestigkeit [MPa]	Bruch-dehnung [%]	Izod-Schlag-zähigkeit Kerbe A [kJ/m²]	Izod-Schlag-zähigkeit ungekerbt [kJ/m²]	HDT B [°C]
Homopolymer	—	0	0,85 ± 0,02	1,85 ± 0,01	37,51 ± 0,30	15,7 ± 3,79	2,07 ± 0,15	42,73 ± 6,41	129,26 ± 5,42
Homopolymer-NF30	Sisal	30	0,98 ± 0,03	3,68 ± 0,04	54,57 ± 1,83	2,75 ± 0,11	4,61 ± 0,35	15,91 ± 0,65	150,57 ± 2,27
Copolymer	—	0	0,85 ± 0,02	0,83 ± 0,01	16,63 ± 0,14	>244	47,39 ± 0,94	N	92,60 ± 6,06
Copolymer-NF30	Sisal	30	0,94 ± 0,05	2,60 ± 0,13	37,12 ± 0,64	4,95 ± 0,44	13,25 ± 0,71	22,09 ± 1,31	144,37 ± 4,38



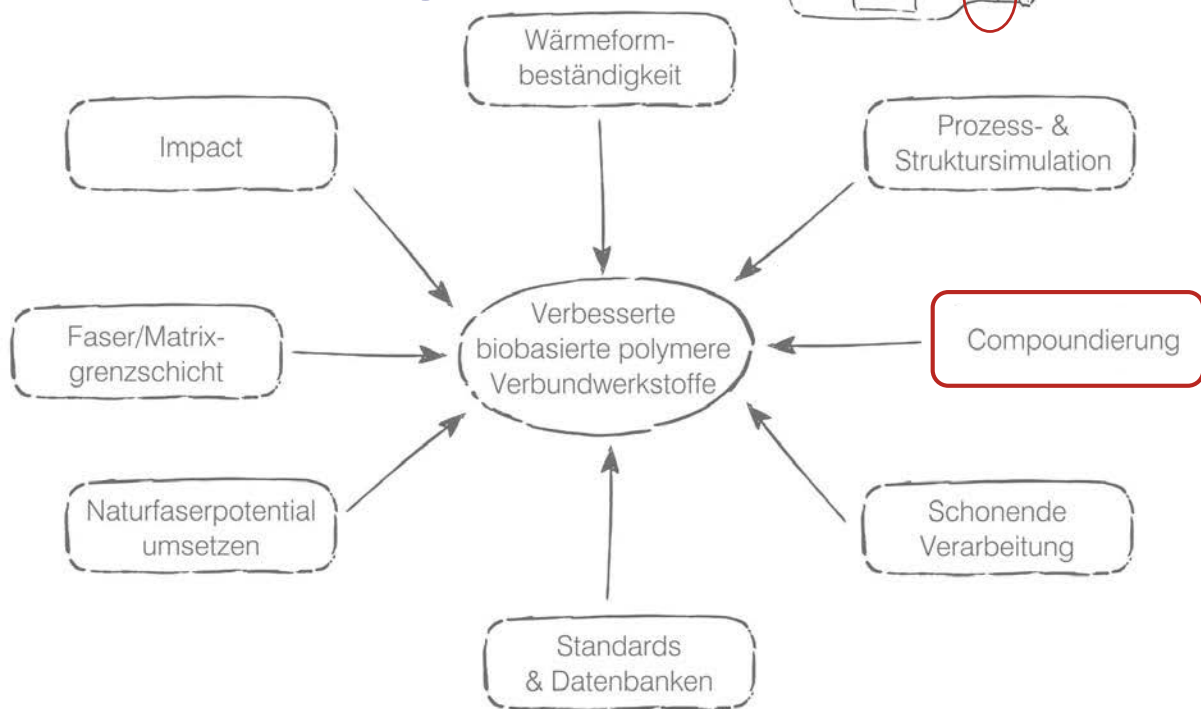
Eigenschaften der unverstärkten Polypropylene und der NFK.

(Richter et al. 2010)

Ziel der technischen Analyse - Herausforderungen & Visionen -

Auf der Basis der Analyse erfolgte eine Auswahl an Ansätzen, deren Umsetzung notwendig ist, um zu verbesserten biobasierten polymeren Verbundwerkstoffen zu gelangen. Die unterschiedlichen Ansätze sind auf der nächsten Folie dargestellt. Einen besonders relevanter Aspekt stellt die Compoundierung und damit verbunden die Faserdosierung dar.

Herausforderungen



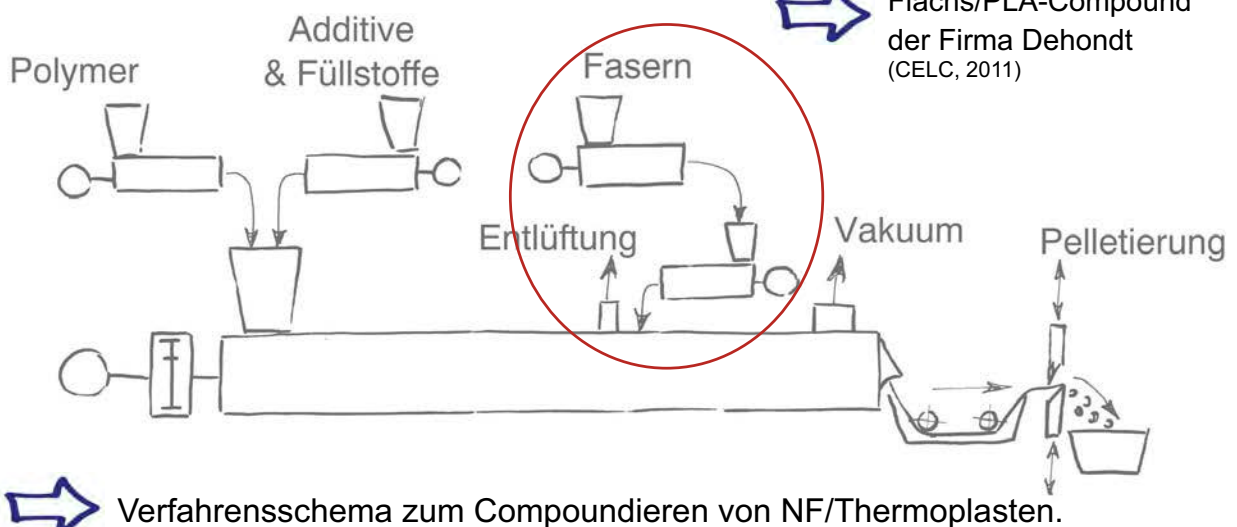
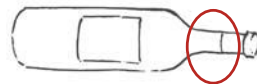
➔ Auswahl an Ansätzen, deren Umsetzung notwendig ist, um zu verbesserten biobasierten polymeren Verbundwerkstoffen zu gelangen.

Herausforderungen & Visionen

19

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Compoundieren



➔ Verfahrensschema zum Compoundieren von NF/Thermoplasten.

Herausforderungen & Visionen

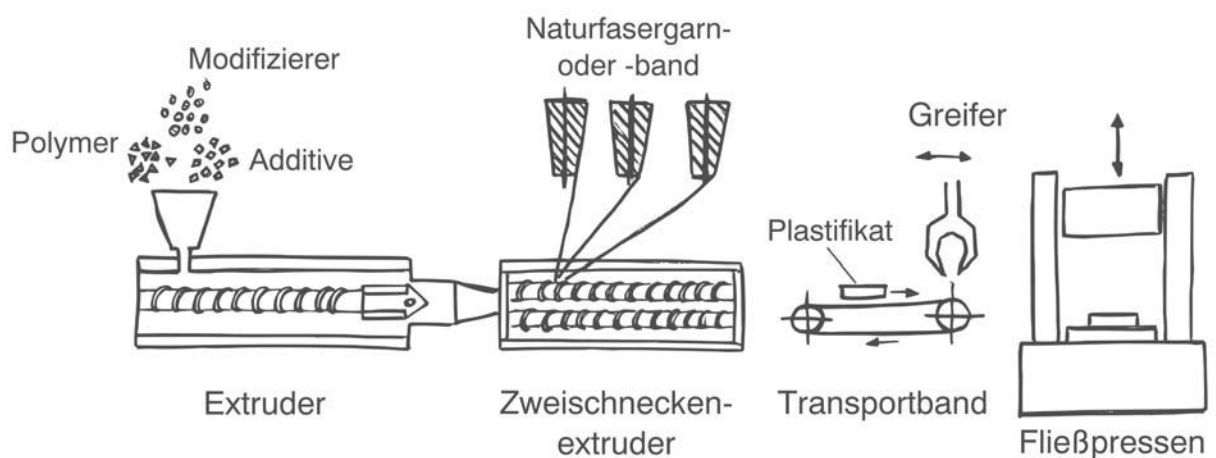
20

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Ziel der technischen Analyse - Analyse von NF-Compoundierverfahren -

Der folgende Abschnitt stellt das Ergebnis der Analyse von NF-Compoundierverfahren dar. Es werden ausgewählte Verfahren vorgestellt und analysiert. Am Ende des Abschnittes folgt eine Zusammenfassung wesentlicher Aspekte.

Lang-Faser-Thermoplast-Verfahren (LFT)

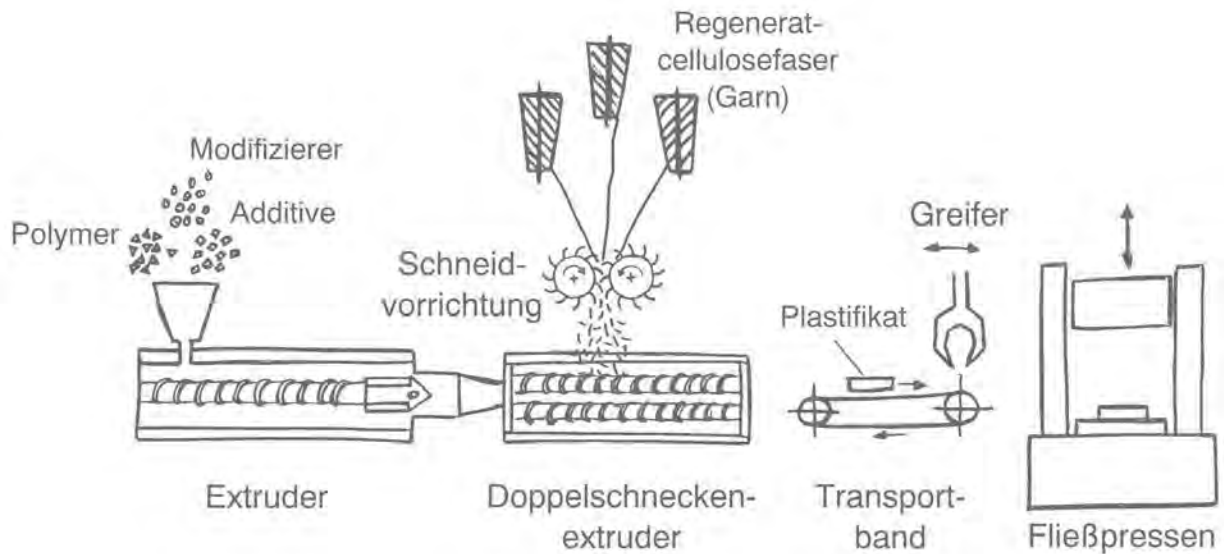


(Huber et al., 2010, S. 416)



Verfahrenskonzept zur Verarbeitung von Naturfasern im LFT-Verfahren.

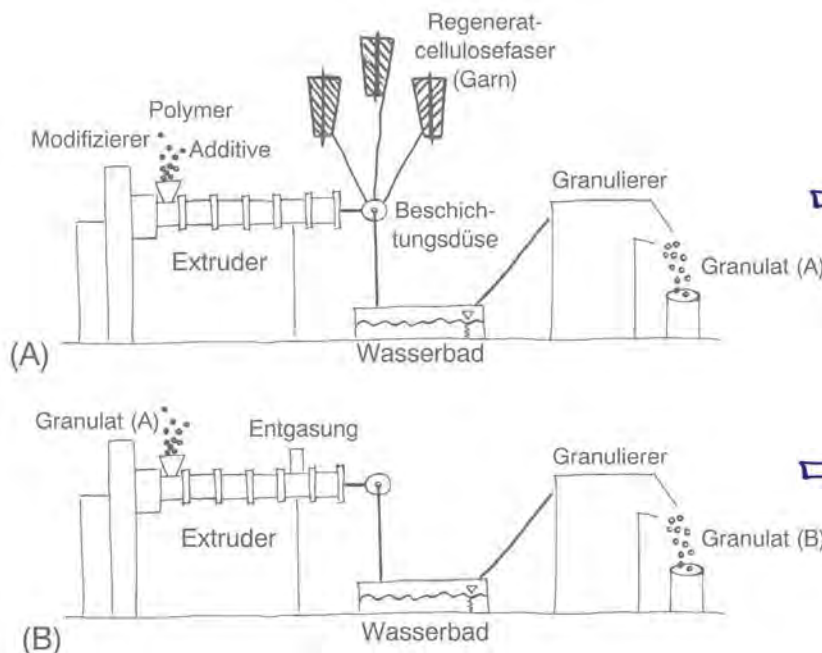
Lang-Faser-Thermoplast-Verfahren (LFT)



➔ Verfahrenskonzept zur Verarbeitung von Regeneratcellulosefasern im LFT-Verfahren.

(vergleiche hierzu auch das LFT-D-Verfahren vom Fraunhofer ICT)

Zweischritt-Pultrusionsverfahren



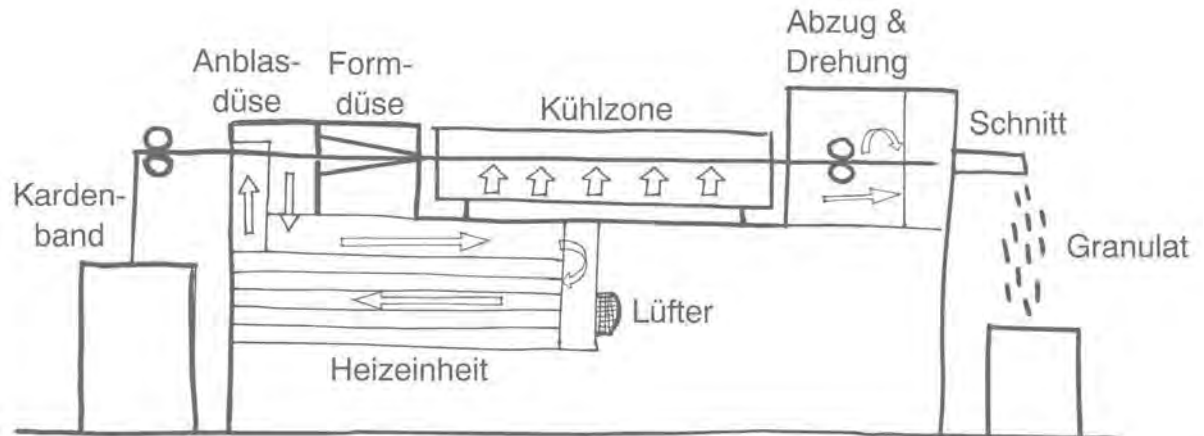
➔ Ummantelung der Garne

➔ Homogenisieren & Granulieren

➔ Verfahrenskonzept zur Verarbeitung von Regeneratcellulosefasern im Zweischritt-Pultrusionsverfahren.

(vergleiche hierzu auch das Zweischritt-Pultrusionsverfahren vom Fraunhofer IAP, Fink et al, 2011)

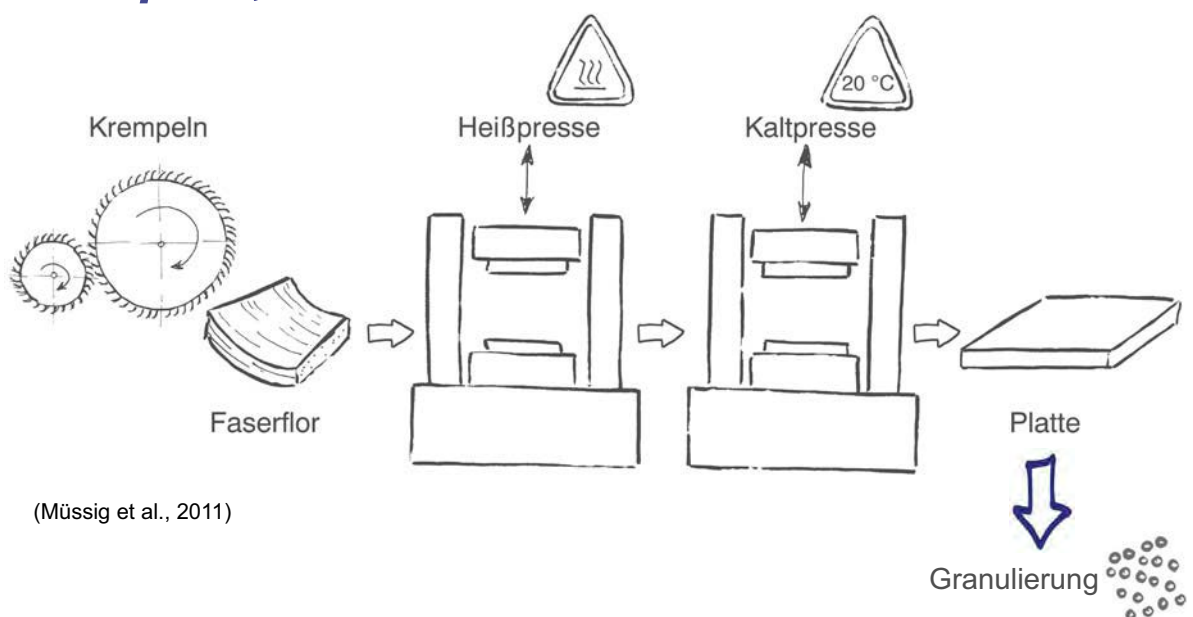
Pull-Drill-Verfahren



➔ Verfahrenskonzept zur Verarbeitung von Naturfaserkardenbändern im Pull-Drill-Verfahren.

(vergleiche hierzu auch das Pull-Drill-Verfahren vom TITK, Fink et al, 2011)

Krempeln, Pressen & Granulieren



(Müssig et al., 2011)

➔ Verfahrenskonzept zur Herstellung von Granulaten auf der Basis von verpressten Faserfloren aus Hanf- und PLA-Fasern.

(vergleiche hierzu auch das Patent von Beckmann, 2001)

Compoundierverfahren: Analyse

- Rieselfähige Fasern, wie z.B. geschnittenes Sisal lassen sich mit Standardcompoundierverfahren verarbeiten.
- Längere Faserbündel lassen sich bisher mit Standardcompoundierverfahren nicht befriedigend verarbeiten.
- Es existieren Spezialentwicklungen zur Herstellung von Granulaten, die häufig allerdings nicht wirtschaftlich tragfähig sind.
- Erfahrungen mit Faserpellets haben gezeigt, dass diese sich häufig nicht oder unzureichend im Compoundierprozess auflösen lassen.

27

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Ziel der technischen Analyse - Analyse der Verfahren zur Pressagglomeration -

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Analyse zur Tauglichkeit unterschiedlicher Verfahren zur Pressagglomeration für Naturfasern vorgestellt. Weiterhin bietet der Abschnitt einen Einblick, inwieweit bekannte Verfahren, Studien und Patente in die Optimierung der Herstellung der Pellets im Rahmen des Projektes eingeflossen sind.

28

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Pressagglomeration

- Durch Presswerkzeuge werden äußere Kräfte auf die Partikel einer trockenen Schüttung ausgeübt, so dass viele Kontakte mit geringen Kontaktabständen gebildet werden.
- Möglichkeiten der Pressagglomeration:

Kompression



Pressen



Wälzdruckmaschinen

Extrusion



Strangpressen
Lochpressen

- Arbeitsprinzipien:

Stempel & Matrize oder gegenläufige Walzen mit glatten Oberflächen bzw. mit gesenkartigen Hohlformen

Stempelkraft & Wandreibung im verengten Verdichtungskanal als Reaktionskraft

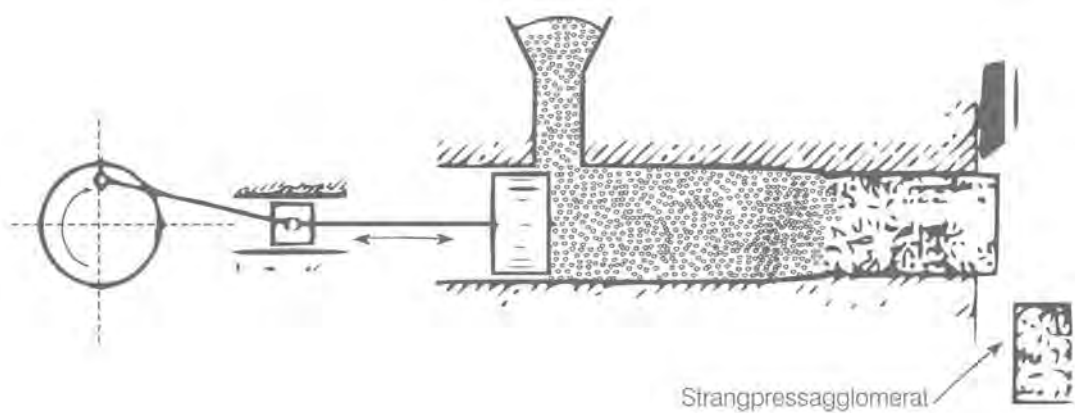
(ABW, 2006)

Pressagglomeration

29

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Pressagglomeration



Strangpresse - Verdichtung erfolgt in Rohrverengung

(ABW, 2006 .- verändert)

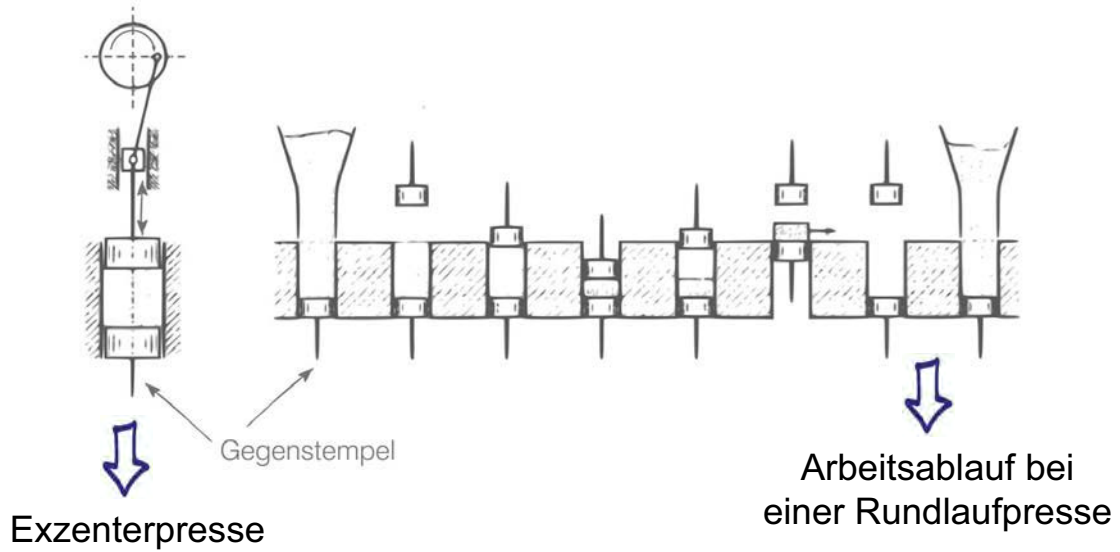
Pressagglomeration

30

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Pressagglomeration

Pressagglomeration



➡ Stempelpresse - Pressen gegen einen 2. Stempel

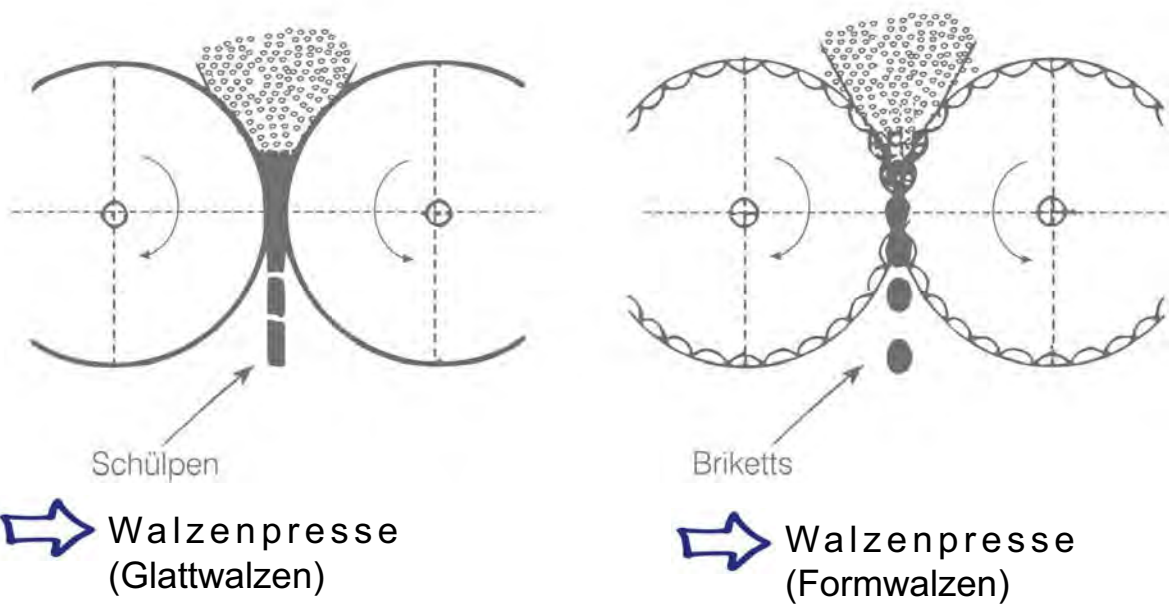
(ABW, 2006 .- verändert)

31

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Pressagglomeration

Pressagglomeration



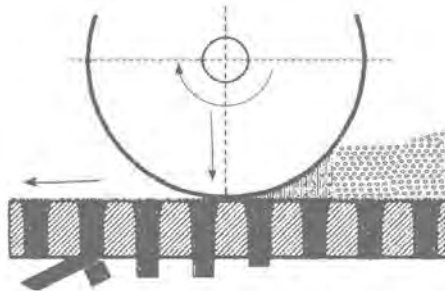
(Stieß, 2001 .- verändert)

32

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

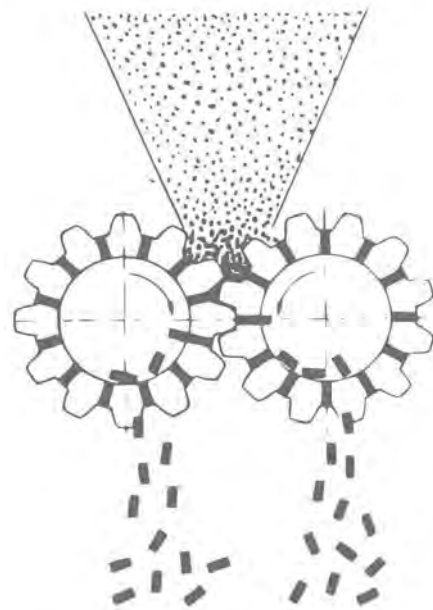
Pressagglomeration

Pressagglomeration



➔ Walzenpresse
mit Lochmatrize

(Stieß, 2001 .- verändert)



➔ Zahnradlochpresse
nach Hosokawa Bepex

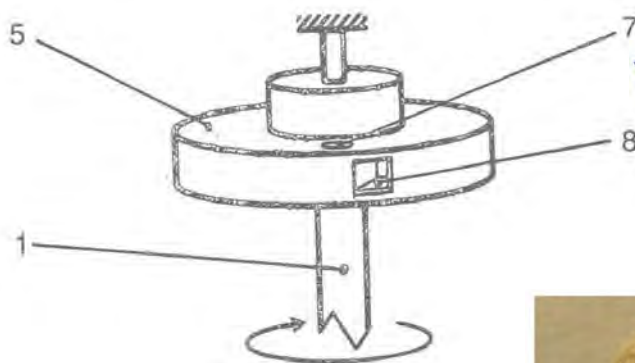
(ABW, 2006 .- verändert)

33

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Rollagglomeration

Rollagglomeration



- 1: Antriebswelle
- 5: feststehende Platte
- 7: Aufnahmeöffnung
- 8: Auswurföffnung

➔ Prinzipdarstellung eines
Kreisbahnrollagglomerators

(DE 103 58 245 B4, 2006)



Hanffaserbündel
(trocken)



Hanffaserbündel
(nass)

➔ Rollagglomerat aus Hanffaserbündeln

(Hildebrandt et al., 2005)

34

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Pressagglomeration

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND
 12 Offenlegungsschrift
 10 DE 100 32 804 A 1
 51 Int. Cl. 7:
 B 01 J 2/22
 B 29 B 7/90
 B 29 B 9/06
 B 29 C 70/06
 DE 100 32 804 A 1

21 Aktenzeichen: 100 32 804.0
 22 Anmeldetag: 28. 6. 2000
 43 Offenlegungstag: 15. 2. 2001

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

66 Innere Priorität:
 199 30 542. 0 29. 06. 1999
 199 30 543. 9 29. 06. 1999
 71 Anmelder:
 Hanf-Faser-Fabrik Uckermark GmbH, 17291
 Prenzlau, DE
 74 Vertreter:
 Heitsch, W., Pat.-Anw., 14778 Jeserig

72 Erfinder:
 Erfinder wird später genannt werden

2005 zurückgenommen/erloschen

→ Verfahren zur Herstellung von Pellets oder Granulaten aus Naturfasern sowie Verfahren zur Einmischung von Naturfasern in eine Kunststoffmatrix und daraus hergestellte faserverstärkte Kunststoffe (DE 100 32 804 A 1, 2001)

Pressagglomeration

35

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Flachsfaseragglomeration

- Landwirtschaftliche Vorproduktion
- Faserextraktion (Schwinge & Faserreinigung)
- Identifikation geeigneter Ausgangsfasern
- Fasermischung, Feinaufschluss, Endreinigung, Konfektion & Konditionierung
- Einmischung von Zuschlagstoffen (Additive etc.)
- Faseragglomeration zu rieselfähigen, gravimetrisch dosierbaren Halbzeugen



(Heger, 2006)

→ Ablauf des Produktionsprozesses
 (Holstein Flachs Flachsveredelungs GmbH)

Pressagglomeration

36

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

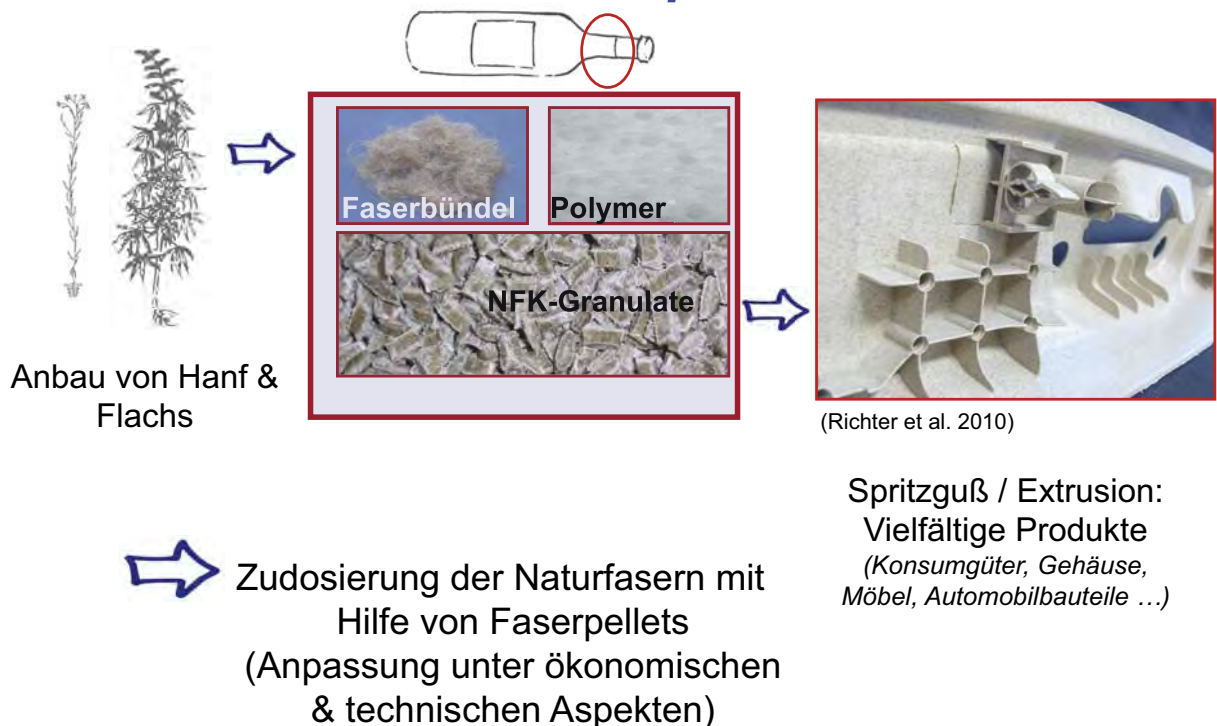
Ziel der technischen Analyse - Rückmeldung zur Pelletentwicklung -

Dieser Abschnitt behandelt kurz die grundsätzliche Idee und den Startpunkt des Projektes. Die Entwicklung und Optimierung der Pellets im Laufe des Projektes soll dokumentiert werden, hierzu werden Umfragen vom Projektbeginn und Reaktionen zu den optimierten Pellets am Projektende vorgestellt.

37

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Prozesskette: Naturfaserpellets



Naturfaserpellets

38

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Naturfaserpellets – das Projekt

Entwicklung einer industriellen Naturfaser-Pellet-Produktion zur Nutzung von Naturfasern als Verstärkung von (Bio-) Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion



Gefördert durch die



Umfrage zu den ersten Produktchargen



Juni 2010:

Pelletprobe 1 (Durchmesser 8,2 mm)	sehr gut (gering)		mittel		(hoch) schlecht	
Gleichmäßigkeit	0	3	0		0	0
Auflösbarkeit	0	0	0		1	2
Dosierbarkeit	0	1	1.5		0.5	0
Staubanteil	3	0	0		0	0
Generelle Einsatztauglichkeit	0	0	0		2	0
Bemerkungen	schlechte Einsatztauglichkeit vermutlich bedingt durch schlechte Auflösbarkeit; Gleichmäßigkeit gut, aber zu lang, Dosierbarkeit abhängig von Anlage, vermutlich nur auf Großanlage einsetzbar; generelle Einsatztauglichkeit ist zu prüfen					
Pelletprobe 2 (Durchmesser 6,3 mm)	sehr gut (gering)		mittel		(hoch) schlecht	
Gleichmäßigkeit	0	0	2		0	1
Auflösbarkeit	0	1	0		1	1
Dosierbarkeit	0	1	1		1	0
Staubanteil	1	0	1		1	0
Generelle Einsatztauglichkeit	0	0	0		2	0
Bemerkungen	schlechte Einsatztauglichkeit vermutlich bedingt durch schlechte Auflösbarkeit; generelle Einsatztauglichkeit ist zu prüfen					



Ausgangslage: Schlechte Auflösbarkeit, geringe Einsatztauglichkeit

Prozesskette: Naturfaserpellets

Naturfaserpellets

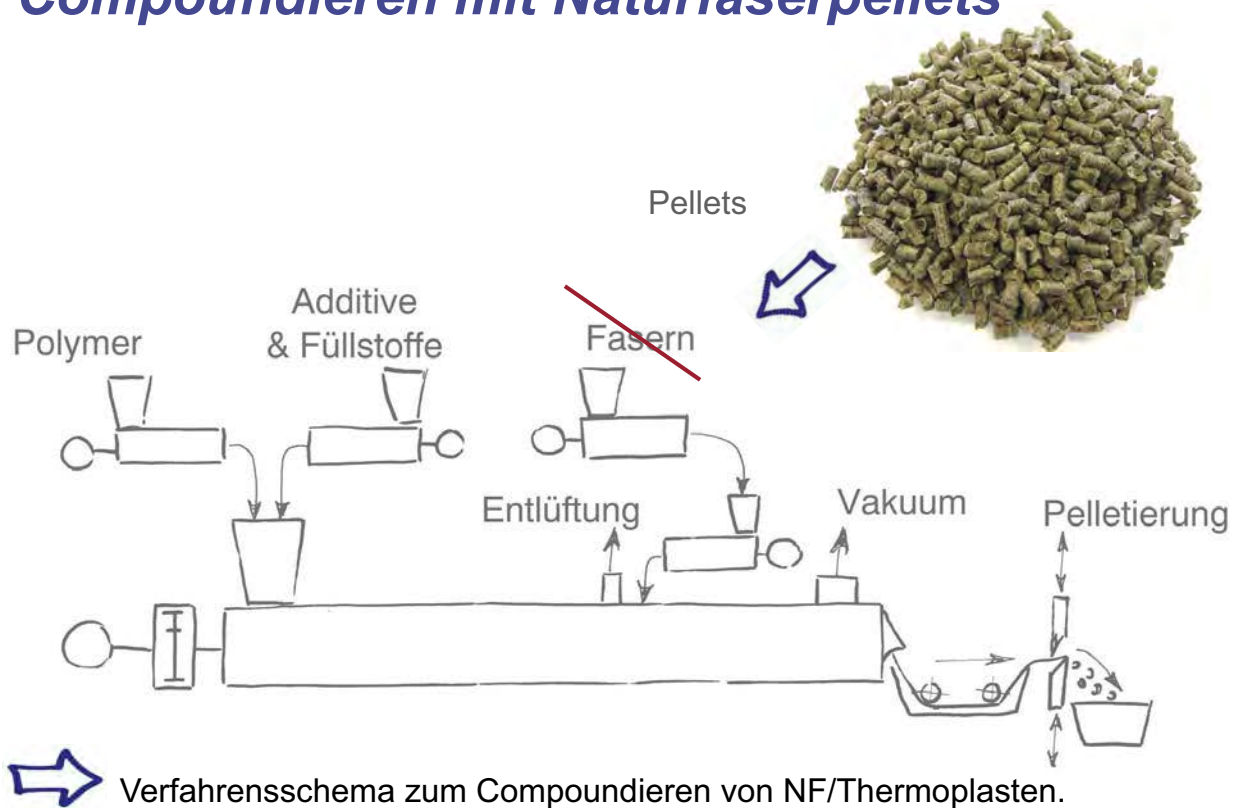


41

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Compoundieren mit Naturfaserpellets

Zusammenfassung & Ausblick



42

Müssig & Haag / Abschlussbericht - Vorstellung der technischen Analyse, Juni 2012

Reaktionen aus Industrie & Forschung (außerhalb des Projekts)

- Die A. Schulman GmbH, Kerpen, konnte die Hanffaserpellets KF und SKF problemlos zu Granulaten (20 Masse%) verarbeiten.
- Das Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe, Hannover unter Leitung von Professor Dr.-Ing. Endres konnte die Hanffaserpellets KF problemlos zu Granulaten verarbeiten.
- Im Rahmen des Projekts „NFC-Simulation / Werkstoff- und Fließmodelle für naturfaserverstärkte Spritzgießmaterialien für den praktischen Einsatz in der Automobilindustrie“ sollen alle Compoundierversuche (Hanf, Flachs & Jute) mit Naturfaserpellets der Firma BAFA durchgeführt werden.



IfBB
 Institut für Biokunststoffe
 und Bioverbundwerkstoffe



Reaktionen aus Industrie & Forschung (außerhalb des Projekts)

- Im Rahmen eines bilateralen Industrieprojekts zwischen dem Ford Forschungszentrum Aachen und der AG Biologische Werkstoffe (HSB) wurden mit einem neuen Compoundierv erfahren die optimierten Pelletvarianten KF & SKF problemlos zu PP/NF-Granulaten mit Masseanteilen bis zu 40 % verarbeitet.
- Die Firma EVONIK hat für ihre laufenden Forschungsarbeiten im Bereich NFK mit Polyamid Interesse gezeigt, die BAFA Naturfaserpellets zu verwenden.
- Die Firma Cordenka hat Muster von Naturfaserpellets angefordert und zeigt großes Interesse an der Herstellung von Pellets aus Cordenkafasern.



EVONIK
 INDUSTRIES

CORDENKA
 premium rayon reinforcement

Quellen

ABW, 2006: *Mechanische Verfahrenstechnik – Pressagglomeration*. Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar

Anonym (2007): Bioplastics in Automotive Applications. Bioplastics Magazine, Vol. 2 (1), p. 14-18

Beckmann, 2001: *Verfahren zum Herstellen von thermoplastisch gebundenem Naturfasermaterial in schütt- und rieselfähiger Form*. Europäische Patentschrift: EP 1 307 33 B1

CELC. 2011: *JEC Composites show Paris: new compound of flax & hemp*. (2011-03-25) <<http://europeanlinenandhempcommunity.eu/2011/03/page/2/>> (2011-10-30)

Daimler Chrysler. 2005: *Unterbodengruppen der A-Klasse .- Bildquellennachweis*

Fink, H.-P. / Ganster, J. & Lehmann, A. 2011: *Herausforderungen der Faserverstärkung von Polymeren aus biobasierten Monomeren* In: DECHEMA & FNR, (Organisation & Hrsg.): DECHEMA / FNR-Workshop - Polymermonomere aus Nachwachsenden Rohstoffen - (31. Oktober - 1. November 2011, DECHEMA-Haus, Frankfurt am Main), DECHEMA, Frankfurt/Main .- Vortragsfolien

Graupner, N. & Müssig, J. 2010: *Technical Applications of Natural Fibres: An Overview*. In: Müssig, J. (Editor): Industrial Applications of Natural Fibres -- Structure, Properties and Technical Applications. Chichester, United Kingdom, John Wiley & Sons, Ltd, 2010, (ISBN 978-0-470-69501-1), p. 63 - 71

Grunwald, A. 1999: Technikfolgenbeurteilung und Materialwissenschaften. In: **Harig, H. / Langenbach, C. J. 1999:** *Neue Materialien für innovative Produkte - Entwicklungstrends und gesellschaftliche Relevanz*. Berlin: Springer Verlag, 1999 (Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung Bd. 3), (ISBN 3-540-66063-1), S. 11 -38

Huber, T. / Graupner, N. & Müssig, J. 2010: *Natural Fibre Composite Processing: A Technical Overview*. In: Müssig, J. (Editor): Industrial Applications of Natural Fibres - Structure, Properties and Technical Applications. Chichester, United Kingdom, John Wiley & Sons, Ltd, 2010, (ISBN 978-0-470-69501-1), p. 407 – 421

Magnani, M. 2010: *The Beauty & the Beast - presented in São Paulo Autoshow in 2008. Entire interior on PP-sisal, white for the beauty and black for the beast.* Aachen, Ford-Forschungszentrum GmbH, 2010. - Bildquellennachweis -Tagungsband

Magnani, M. & Wehmeyer, I. 2010: *Renewable Materials in Ford Motor Company's Vehicles.* In: Rohrmann, J. (Leitung): SKZ Fachtagung, Polypropylen im Automobilbau -- Innovativ und erfolgreich (SKZ, 22. - 23. September 2010), Würzburg: SKZ - ConSem GmbH (Hrsg.), 2010, M1 -- M24.

Müssig, J. 2010 (Editor): *Industrial Applications of Natural Fibres -- Structure, Properties and Technical Applications.* Chichester, United Kingdom, John Wiley & Sons, Ltd, 2010, (ISBN 978-0-470-69501-1), 538 pages

Müssig, J. / Graupner, N. / Oldemeyer, K.-E. / Mölleken, H. 2011: *Hemp fibre reinforced PLA from cultivation to the final product.* In: nova Institut GmbH (Organizer & Editor) 2011: 8th International Conference of the European Industrial Hemp Association. Hürth: nova-Institut GmbH, 2011, Documentation of the 8th International Conference of the European Industrial Hemp Association (EIHA). nova-Institut (Organizer), Hürth, 2011-05-18 until 2011-05-19, 30 pages

Richter, S. / Eikelenberg, N. / Magnani, M. / Müssig, J. 2010: *Sisal als Verstärkung.* In: Kunststoffe (ISSN 0023-5563), Vol. 100, 6, (2010), S. 72 – 75

Scherübl, B. 2005: *The realization of natural fibre-reinforced plastics in the automotive exteriors.* In: nova Institut GmbH (Hrsg.) 2005: 3rd International EIHA Conference. Hürth: nova-Institut GmbH, 2005, Documentation of the Third International Conference of the European Industrial Hemp Association (EIHA). European Industrial Hemp Association (EIHA), nova-Institut (Organizer), Hürth, 2005-11-28 until 2005-11-29, p. 1 - 28

Sonntag, W. / Barthel, W. 2002: *Kunststoff für Karosserieverkleidungen.* In: Universität Gh Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik (Editor & Organisier): 4th International Wood and Natural Fibre Composites Symposium (4. International Conference) (Kassel 2002-04-10 till 2002-04-11) Kassel, Germany: Institut für Werkstofftechnik, 2002, S. 1-1 – 1-27. - Proceedings, Paper No. 1

Stieß, M. 2001: *Mechanische Verfahrenstechnik*, Band 2. Springer, 2001 (ISBN 3540558527)

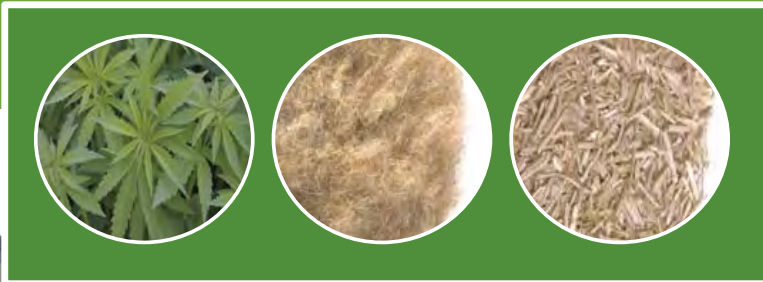
Danksagung

Das Projekt „Entwicklung einer industriellen Naturfaser-Pellet-Produktion zur Nutzung von Naturfasern als Verstärkung von (Bio-) Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion“ – Förderkennzeichen: FKZ: AZ 27717-34 – wurde mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördert.



Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion

Fachtagung 21.05.2012



BAFA
Badische
Naturfaseraufbereitung GmbH



Bernd Frank: Anlage, Konzept

Gliederung



BAFA

- 1) Engpass beim Naturfaserspritzguss
- 2) Lösungsansatz im Projekt
- 3) Umsetzung und Feedback
- 4) Was wurde erreicht und was steht zur Verfügung
- 5) Ausblick

1) Engpass beim Naturfaserspritzguss



BAFA

Dem naturfaserverstärkten Spritzguss wurde eine vielversprechende Zukunft vorausgesagt, wobei sich bei der Umsetzung die **Zudosierung der Faser in den Extruder** als ein wesentlicher Engpass herausstellte.

Die Zudosierung der **losen Faser** war **nicht möglich**.

Einen Lösungsansatz gab es über die **Textiltechnik Kardenband**, welche sich als **zu teuer** darstellte.

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

2) Lösungsansatz im Projekt



BAFA

Der Lösungsansatz im Projekt war die Entwicklung eines dosierbaren Faserpellets „**Softpellets**“.

Es sollte **hart** genug sein, um es gut dosieren zu können, aber **weich** genug, dass es sich im Extruder gut auflöst.

Dabei sollte es die **Ansprüche** erfüllen, dass dieses Pellet **kostengünstig**, im **industriellen Maßstab** hergestellt und in seiner Anwendung sowohl von **Instituten** als auch **Praktikern überprüft** wird.

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

3) Umsetzung und Feedback



BAFA

Nach intensiven Überlegungen, Planungen und der Überprüfung einzelner Aggregate wurde die Pelletierung aufgebaut.

Fachtagung Naturfaserpellets 21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

Faserdosierung & Pelletierung



BAFA



1 Ballenauflöser

2 Stufenöffner zur
Auflockerung

3 Dossierschacht mit
geregelter
Austragung

Fachtagung Naturfaserpellets 21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

3) Umsetzung und Feedback



Was früher für die Dosierung im Extruder nicht gelöst war, ^{BAFA} musste nun, als Vorverlegung der Problemstellung, für die Dosierung in die Pelletpresse gelöst werden.

Folgende Fragestellungen und Lösungsansätze ergaben sich dabei für die **Faserdosierung**:

- **Wie erreicht man eine Gleichmäßigkeit im Produktstrom?**

⇒ **Gute Öffnung des Ausgangsmaterial**

- **Wie kommt das große Volumen in die Pelletpresse?**

⇒ **Vergleichmäßigung. Kontrolliert gesteuerte Abgabe an das Zuführband**

- **Wie mischt man Faser und Zusätze gleichmäßig ein?**

⇒ **Gleichmäßiges Aufstreuen auf Volumenstrom**

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

3) Umsetzung und Feedback



^{BAFA}

Der Ballenöffner und die anschließenden Aggregate mussten so gestaltet werden, dass eine möglichst umfangreiche Öffnung des Materials erfolgen kann, um damit den gleichmäßigen Produktstrom zu ermöglichen.

Der dadurch entstehende großvolumige Produktstrom musste gleichmäßig in die Pelletpresse überführt werden.

Dafür wurden Steuerungsmechanismen entwickelt, die das Material an das Band gleichmäßig abgeben.

Bei den Anstrengungen Pellets softer zu gestalten wurde festgestellt, dass es sinnvoll ist entsprechende Trennmittel mit einzugeben. Hier ergibt sich die Fragestellung, wie man auch diese entsprechend gleichmäßig eindosieren kann. Dies wurde durch Einstreumechanismen auf den Volumenstrom gelöst.

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

3) Umsetzung und Feedback



BAFA

Zu Anfang der Versuche hatte man ein hartes, dichtes Pellet. Daraus ergaben sich folgende Fragestellungen und Lösungsansätze bezüglich der eigentlichen Pelletierung:

Es gibt einen Zusammenhang zwischen Presskanallänge und Pelletdichte.

- **Wie muss also die Presskanallänge modifiziert werden, um die Pelletdichte zu verändern?**

⇒ **Je länger der Presskanal, desto dichter das Pellet, je kürzer, desto softer**

3) Umsetzung und Feedback



BAFA

Eine ebenso wichtige Größe für die Festigkeit des Pellets stellt die Zudosierung von Gleitmitteln und/ oder Wasser dar. Auch dafür musste für die verschiedenen ausprobierten Fasern das Optimum ermittelt werden.

- **Wie kann die Festigkeit/ Dichte des Pellets durch die Zugabe von Wasser beeinflusst werden?**

⇒ **Man braucht eine bestimmte Menge an Wasser bei der gleichzeitigen Einmischung von Faser und Wasser, damit es nicht zu Verklumpungen und Verstopfungen kommt; Durch Zugabe von mehr oder weniger Wasser funktioniert die Pelletierung nicht.**

3) Umsetzung und Feedback



BAFA

Es wurden verschiedene Versuche gefahren und die Ergebnisse (Pellets, erzeugt mit 8 mm Matrize) den Partnern zur Verfügung gestellt.

Fachtagung Naturfaserpellets 21.05.2012 Bernd Frank: Anlage, Konzept

Feedback der Projektpartner



BAFA

Bei der **Agglomeration** erfolgte **keine vollständige Auflösung** der Faserpellets. Es waren **deutliche Faseragglomerate** sichtbar.

Bei der **Extrusion** zeigte sich eine **unregelmäßige Oberfläche der Faserplatte**, da die **Faserpellets nicht vollständig aufgeschlossen** wurden.

Problem: Die Pellets sind ohne Zumischung von Zusätzen zu fest. Ebenso sind die Pellets zu groß.

Fachtagung Naturfaserpellets 21.05.2012 Bernd Frank: Anlage, Konzept



Daraufhin wurden Lösungsansätze entwickelt und umgesetzt.

Durch die **Zugabe von PP-Gries** und die **Veränderung des Matrizen Durchmessers (5 mm)** wurde das **Pellet softer** und es erfolgte eine **bessere Dispergierung** der Faser im Polymer.

Zugabe von PP Gries



- Versuche mit verschiedenen Mischungen (PP-Gries) zeigten, dass die Korngröße des Grieses sowie die Länge der Faser eine wesentliche Rolle für die maximal zudosierbare Menge spielt.

⇒ **Je länger die Faser und je feiner der Gries, desto höher ist die zudosierbare Menge und desto „softer“ können die Pellets gestaltet werden.**

Veränderung des Matrizen Durchmessers



BAFA

Die Ausgangsmatrize hatte einen Lochdurchmesser von 8 mm.

Heute hat die Matrize einen Lochdurchmesser von 5 mm
⇒ **Dadurch wurde der Pelletierungsprozess sensibler/störanfälliger.**

⇒ **Deshalb musste erneut eine Verbesserung der Steuerung erfolgen, um die Gleichmäßigkeit des Materialflusses zu verfeinern.**

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

Verschiedene Fasertypen im Test



BAFA



von links nach rechts:

Hanf Kurzfaser, Baumwolle, Hanf Superkurzfaser, Hanf gerissene vliesfähige Faser, Bambus, Jute

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

4) Was wurde erreicht und steht zur Verfügung?



BAFA

Angeregt durch das Feedback der Partner können heute folgende Pelletarten angeboten werden (Matrizen Durchmesser 5 mm):

	pur	+ PP	+ PLA
Hanf Kurzfaser 10 - 15 mm	X	5 % - 40 %	5 %- 30 %
Hanf Superkurzfaser 1 -2 mm	X	5 % – 25 %	5 % -30 %
Hanffaser gerissen 10 – 25 mm	X	20 %	5% -30 %

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

5) Ausblick



BAFA

Aktuell wird mit Hochdruck an der Weiterentwicklung der Pelletierungsanlage und des Softpellets gearbeitet. Dazu erfolgen folgende Schritte:

- Installation eines anderen Ballenöffners, um die Auflösung und damit die Gleichmäßigkeit zu verbessern
- Einbau einer 4 mm Matrice
- Erprobung eines höheren PP und PLA Anteils
- andere Faserarten und Mischungen werden erprobt
- eigene Firmengründung: **Badische FaserVeredelung**

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept

5) Ausblick



BAFA

Nach der Pressemitteilung und zwei durch das Projekt geförderten Workshops haben sich tragfähige Industriekontakte ergeben. An den Anforderungen und Wünschen der Kunden wird stetig gearbeitet.

Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept



BAFA



Fachtagung Naturfaserpellets

21.05.2012

Bernd Frank: Anlage, Konzept



BAFA



Fachtagung Naturfaserpellets 21.05.2012 Bernd Frank: Anlage, Konzept

Dank



BAFA

Unser Dank gilt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, die uns finanziell unterstützt und somit die Faserpelletierung möglich gemacht hat. Ebenso danken wir den Projektpartnern, für die hervorragende Zusammenarbeit.

Fachtagung Naturfaserpellets 21.05.2012 Bernd Frank: Anlage, Konzept



BAFA

Badische Faserveredelung
Stephanstr. 2
76316 Malsch

Ansprechpartner und Geschäftsführer:
Bernd Frank und Peter Muthmann

Tel.: + 49 7246 92575 0
Fax: + 49 7246 92575 23

Email: bafa@swol.de

Fachtagung Naturfaserpellets 21.05.2012 Bernd Frank: Anlage, Konzept



Naturfasern als Verstärkung von (Bio-)Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion

Ökologische Betrachtung

Lena Scholz
nova-Institut GmbH

1



Methodik einer Life Cycle Analysis (LCA)

Im Projekt zu ermittelnde ökologische Daten nach Schema einer LCA

- Goal and Scope Definition
 - Erhebung der energetischen Kennwerte
 - grobe Abschätzung des Energie-Inputs für die gesamte Prozesskette
Daten für mögliche spätere detaillierte Energie- und Ökobilanzen zur Verfügung stellen, die sonst später nur mühsam erhoben werden können
- Inventory Analysis
 - Struktur Prozesskette
 - Inputliste Pelletierung
 - Anteil an Energieverbrauch der Prozesskette
- Impact Analysis & Interpretation

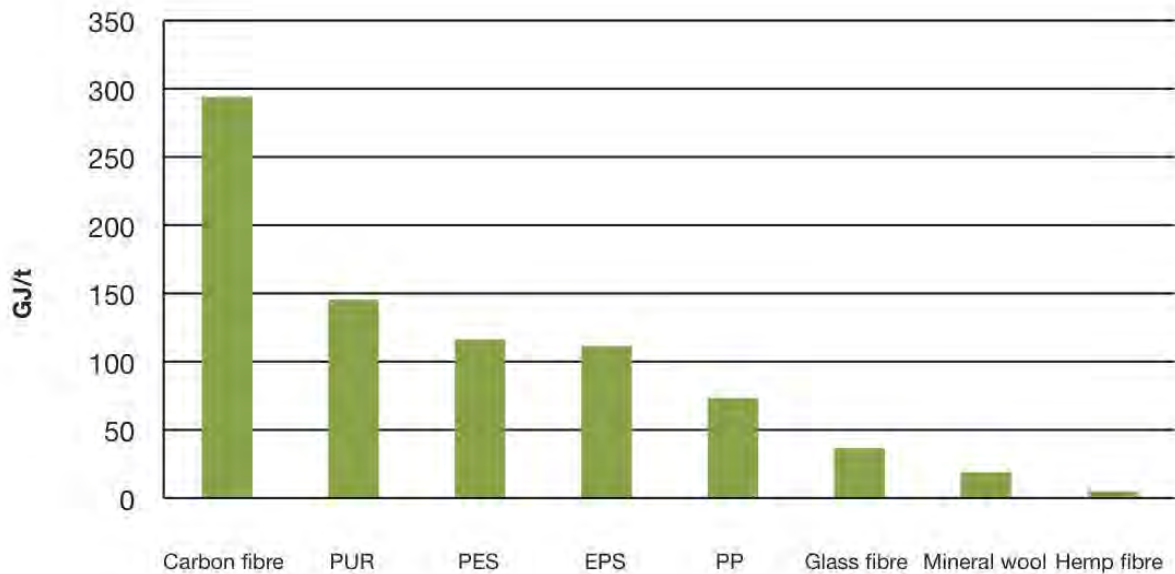
Für später gewählte Betrachtungseinheit mit den hier aufgeführten Daten durchführbar (ohne Vergleichsgröße erstellt)

2



Energiebedarf (KEA) für die Hanffaserherstellung

im Vergleich zu anderen (Verstärkungs-)Werkstoffen



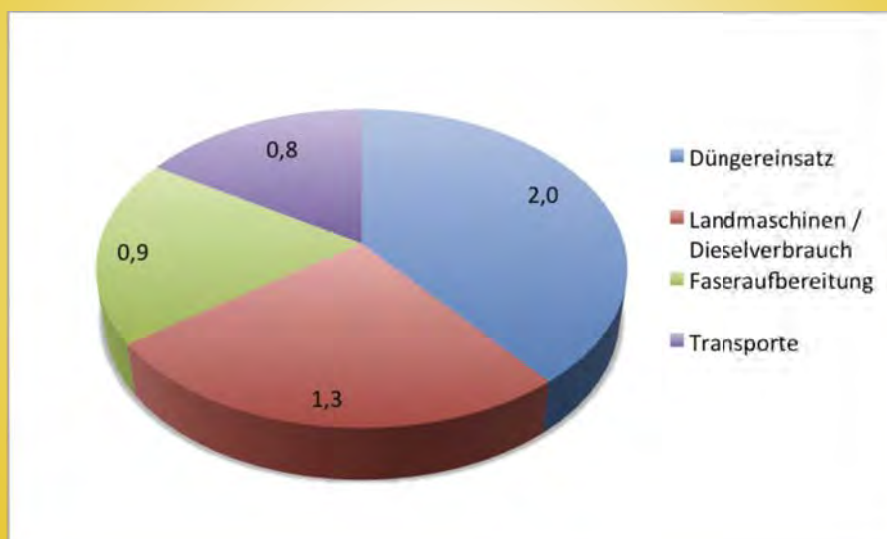
Quelle: Haufe/Carus, 2008/2011

3



Energiebedarf (KEA) in den verschiedenen Phasen der Hanffaserproduktion

■ Gesamt: < 5 GJ/t



Quelle: Carus, 2008

4



Inputliste Pelletierprozess pro Tonne Hanffaserpellets, pur

■ Output

525 kg/h: 4,2 t/Schicht

■ Leistung

Pelletieranlage: 65 kW
Hallenbeleuchtung: 3 kW
Stapler: 1 kW

■ Material

Hanffasern: 1.050 kg
Wasser: 50 l
Schmierstoffe
und Reinigungsöl: 5 l
Verpackung:
Big Bag + Palette 1,25 St

■ Energie pro Tonne

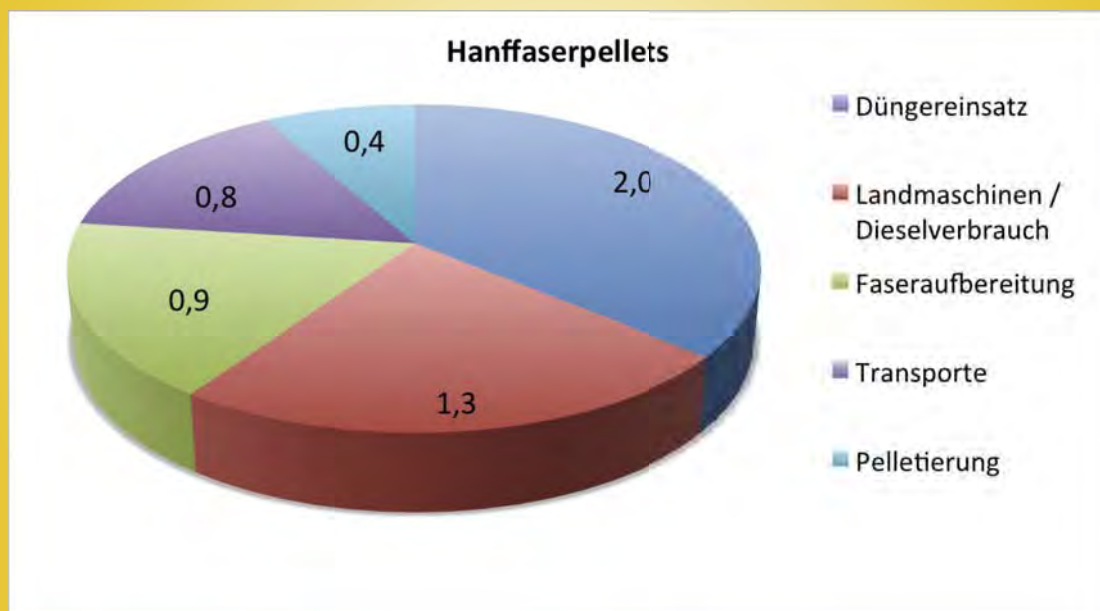
Pelletieranlage: 0,4 GJ
Hallenbeleuchtung: 5 kWh/t
Stapler(4h/Schicht): 0,9 kWh/t 0,02 GJ
0,42 GJ

5



Energiebedarf (KEA) Hanffaserpellets

■ Gesamt: 5,4 GJ/t



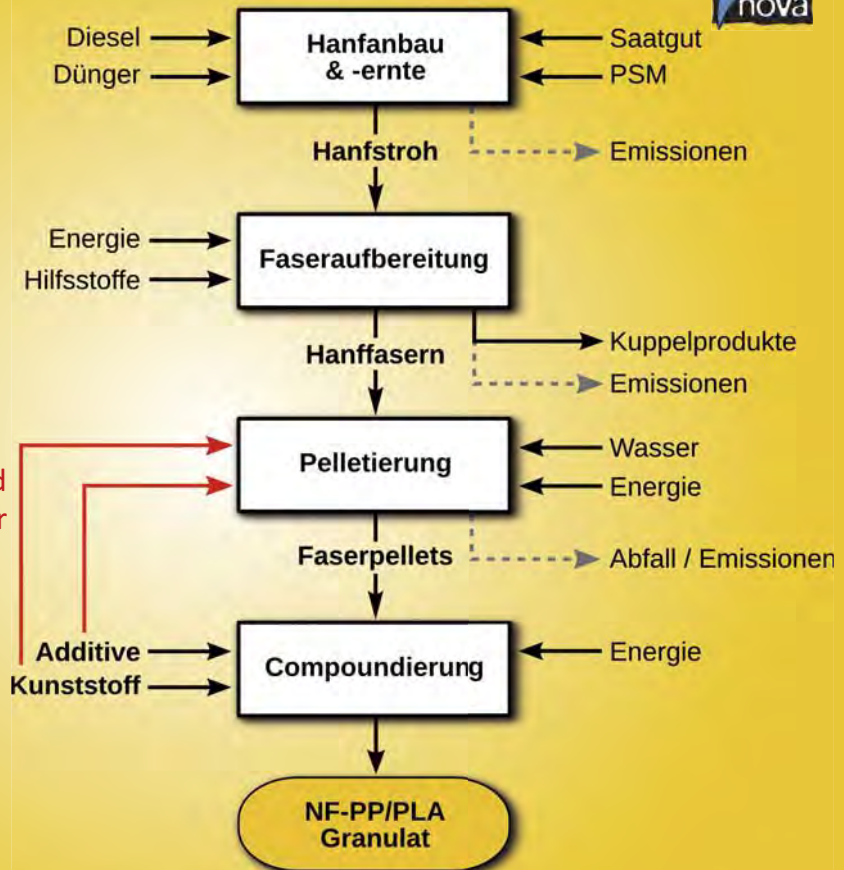
6



Prozesskette

Anbau bis Granulat

Zuführung von Kunststoff und Additiven in vorhergehender Wertschöpfungsstufe möglich Bilanz bleibt so gleich



7



Annahmen zur Berechnung Compound 60/40

(Im Versuch direktextrusionsfähig)

Pellet aus 60% Hanffasern und 40% PP:

Hanffasern/Tonne Compound	(600 kg)	3,0 GJ/t
PP/Tonne Compound	(400 kg)	30,0 GJ/t
Pelletierung		0,4 GJ/t

Compoundier-/Extrusionsprozess (exemplarisch):

Nennleistung 375 kW, 80%; Durchsatz 100 kg/h	10,8 GJ/t
--	-----------

Transport zu Compoundeur:

Annahme: 500 km im LKW	<u>0,6 GJ/t</u>
	44,8 GJ/t

8



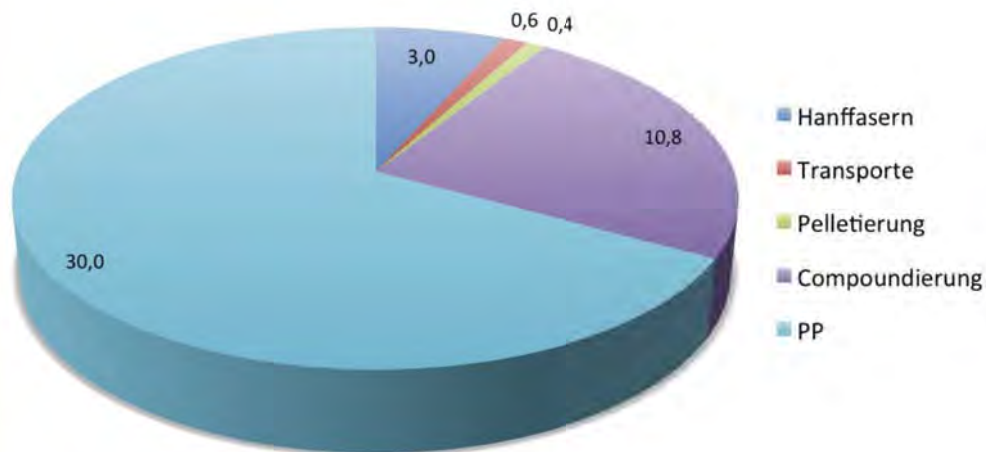
Energiebedarf (KEA) NFK-Compound 60/40

Compound-Pellet direkt extrudiert -> Profil

bzw. Pellet pur 60/40 compoundiert -> Granulat

Gesamt: 44,8 GJ/t

NFK-Compound 60/40



9



Fazit

- Verstärkung durch pelletierte Hanffasern führt zu Energieersparnis von 40% gegenüber reinem PP
- Pelletierprozess benötigt etwa 5% der Energie eines Compoundierschritts
➔ Einsparungen möglich, falls mit Pelletierung auf einen Compoundierschritt verzichtet werden kann
- Bei Hanffaserverstärkung von PLA (KEA pur ca. 30 GJ/t) ergäbe sich entsprechend:
Gesamtenergieverbrauch von 26,8 GJ/t
Einsparung durch Hanffaserverstärkung: > 10%
Einsparung gegenüber reinem PP: > 60%
Einsparung gegenüber hanffaserverstärktem PP: > 40%

10



Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion

Ökonomische Analyse

Dipl.-Volksw. Janpeter Beckmann

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
nova-Institut GmbH

1



Kernfrage:

Ist die Zufuhr der Naturfasern über Naturfaser-Pellets in die Prozesse der Kunststoffindustrie ökonomisch attraktiv?

2



Ansatz:

- **Zielpreis Pellets (Projektvorgabe): max. 1,30 €/kg**
- **Beachtung der gesamten Prozesskette, d.h. auch Berücksichtigung der späteren Verarbeitbarkeit der Pellets in Spritzguss und Extrusion unter ökonomischen Gesichtspunkten**

3



Folgende Versuchsreihen werden im folgenden ökonomisch genauer beleuchtet:

BAFA – SKF 100 %

BAFA – KF 60 %, PP 40 %

BAFA – KF 69 %, PLA 31 %

BAFA – VF 76 %, PP 24 %

Diese Versuchsreihen lieferten technisch vielversprechende Ergebnisse und bilden zugleich das Versuchsreihenspektrum unter ökonomischen Gesichtspunkten in der Breite ab (Materialkosten, Output pro Betriebsstunde, etc.).

4



Ausgangsgrößen

Preis Kurzfasern:	0,42 €/kg
Preis Superkurzfasern:	0,59 €/kg
Preis gerissene, vliesfähige Fasern: ¹	0,90 €/kg
Preis PP-Grieß:	1,50 €/kg
Preis PLA-Grieß:	2,50 €/kg
Preis Strom:	0,2 €/kWh
Lohn (AGB):	20 €/h
Betriebsstunden (1-Schicht):	150 h/Monat
Produktive Stunden: ²	7/8
Gewinnmarge:	10%

¹ beinhaltet „Reiß-Kosten“

² Die achte Stunde ist u.a. aufgrund von regelmäßigen Reinigungsarbeiten unproduktiv.

5



Beispiel Kalkulationsaufbau

Fixkosten				
	Kostenart	€/Monat	€/h	€/t
Fixkosten	Abschreibungsrate (84.000 € auf 7 Jahre, linear)	1000,00	6,67	18,57
	Stapler	300,00	2,00	5,57
	Berufsgenossenschaft / Steuerberatung	1000,00	6,67	18,57
	Gehälter (Verwaltung, Elektrik)	7000,00	46,67	129,99
	Miete	2500,00	16,67	46,43
	Chargenwechsel, Komplettreinigung (2 Arbeiter à 3 St. ca. 1x/Monat)	84,00	0,56	1,56
	Sonstiges	400,00	2,67	7,43
	Fixkosten	12284,00	81,89	228,12
Variable Kosten				
	Kostenart	€/h	€/t	
Material	Fasern (vliesfähig, gerissen) (68%)			612,00
	PLA (32%)			800,00
	Haftvermittler (0%)			0,00
	Wasser (ca. 3%, entspricht Staubabgang)			0,27
	Sonstige Zuschlagsstoffe			0,00
	Material			1412,27
Maschine & Betrieb	Matrize		9,32	
	Kollersatz		7,56	
	Matrizen-/Kollersatzwechsel (2 Arbeiter à 2 Stunden)		0,27	
	2 Arbeiter	40,00	111,42	
	Hallenbeleuchtung	0,60	1,67	
	Strom Pelletierung und Staubabsaugung	13,00	36,21	
	Schmierstoffe	2,00	5,57	
	Reinigung (jede 8. Stunde - 20 € Öl sowie 75 kg Fasern)	70,00	194,99	
V & E	Filterschläuche austauschen (ca. 2.500 €, nach ca. 1800 h)	1,40	3,90	
	Reinigung Filter	1,75	4,87	
	Maschine und Betrieb			375,78
	Verpackung (Big Bag, 20 €, fasst 800kg)			25,00
	Entsorgung (2-3% Abfälle pro Tonne)			5,50
	Verpackung und Entsorgung			30,50
				1818,55

6



Beispiel BAFA SKF 100 %, 1-Schicht

	<i>Kostenart</i>	<i>€/Monat</i>	<i>€/h</i>	<i>€/t</i>
<i>Fixkosten</i>	Abschreibungsrate (84.000 € auf 7 Jahre, linear)	1.000,00	6,67	11,70
	Stapler	300,00	2,00	3,51
	Berufsgenossenschaft / Steuerberatung	1.000,00	6,67	11,70
	Gehälter (Verwaltung, Elektrik)	7.000,00	46,67	81,87
	Miete	2.500,00	16,67	29,24
	Chargenwechsel, Komplettreinigung (2 Arbeiter à 3 St. ca. 1x/Monat)	84,00	0,56	0,98
	Sonstiges	400,00	2,67	4,68
	Fixkosten	12.284,00	81,89	143,67

Zur Erinnerung:

- 150 Betriebsstunden pro Monat
- Durchschnittlicher Output pro Betriebsstunde: 570 kg

7



Beispiel BAFA SKF 100 %, 1-Schicht

	<i>Variable Kosten</i>	<i>€/h</i>	<i>€/t</i>
<i>Material</i>	<i>Kostenart</i>		
	Fasern (Superkurz) (100%)		590,00
	PP Moplen (0%)		0,00
	Haftvermittler (0%)		0,00
	Wasser (ca. 3%, entspricht Staubabgang)		0,27
	Sonstige Zuschlagsstoffe		0,00
	Material		590,27
<i>Maschine & Betrieb</i>	Matrize		9,32
	Kollersatz		7,56
	Matrizen-/Kollersatzwechsel (2 Arbeiter à 2 Stunden)		0,27
	2 Arbeiter	40,00	70,18
	Hallenbeleuchtung	0,60	1,05
	Strom Pelletierung und Staubabsaugung	13,00	22,81
	Schmierstoffe	2,00	3,51
	Reinigung (jede 8. Stunde - 20 € Öl sowie 75 kg Fasern)	46,75	82,02
	Filterschläuche austauschen (ca. 2.500 €, nach ca. 1800 h)	1,40	2,46
	Reinigung Filter	1,75	3,07
	Maschine und Betrieb		202,23
<i>V & E</i>	Verpackung (Big Bag, 20 €, fasst 800kg)		25,00
	Entsorgung (2-3% Abfälle pro Tonne)		5,50
	Verpackung und Entsorgung		30,50
			823,00

Zur Erinnerung:

- Preis Superkurzfasern: 59 ct/kg

8



Beispiel BAFA SKF 100 % - Ergebnisgrößen

1-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat
Herstellungskosten pro Tonne
zzgl. 10% Gewinnmarge
Preis (ab Werk) pro Kilogramm

85,5
966,67 €
1.063,34 €
1,06 €

2-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat
Herstellungskosten pro Tonne
zzgl. 10% Gewinnmarge
Preis (ab Werk) pro Kilogramm

171
894,84 €
984,32 €
0,98 €

3-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat
Herstellungskosten pro Tonne
zzgl. 10% Gewinnmarge
Preis (ab Werk) pro Kilogramm

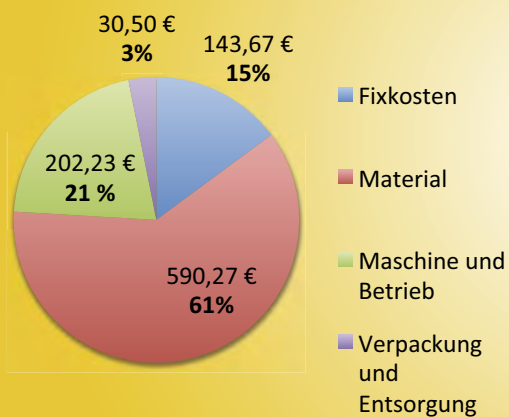
256,5
870,89 €
957,98 €
0,96 €

9



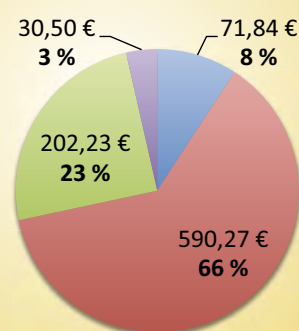
Beispiel BAFA SKF 100 % - Kostenverteilung

1-Schicht



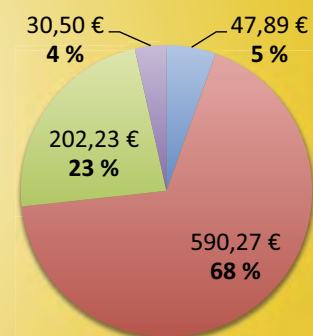
Pelletpreis 1,06 €/kg

2-Schicht



0,98 €/kg

3-Schicht



0,96 €/kg

10



BAFA KF 60 %, PP 40 % - Ergebnisgrößen

1-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	65,7
Herstellungskosten pro Tonne	1.298,64 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.428,51 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,43 €

2-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	131,4
Herstellungskosten pro Tonne	1.205,16 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.325,67 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,33 €

3-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	197,1
Herstellungskosten pro Tonne	1.174,00 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.291,39 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,29 €

Zur Erinnerung:

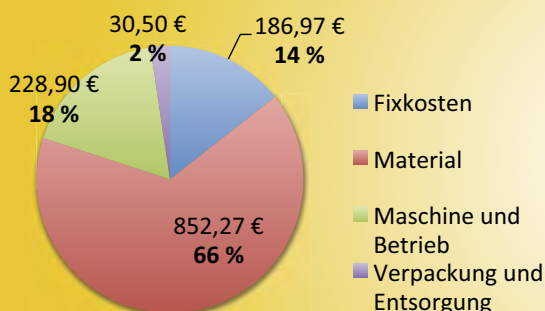
- Preise: KF: 0,42 €/kg, PP 1,50 €/kg
- durchschnittlicher Output pro Betriebsstunde: 438 kg

11



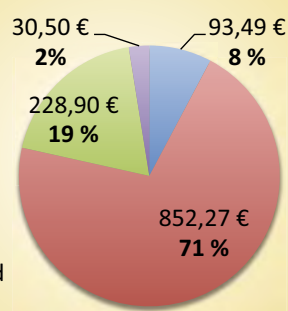
BAFA KF 60 %, PP 40 % - Kostenverteilung

1-Schicht



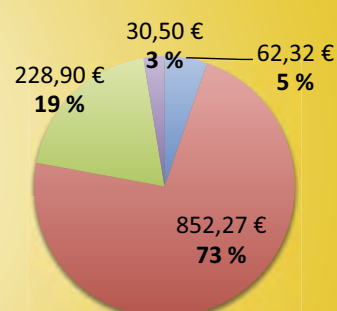
Pelletpreis 1,43 €/kg

2-Schicht



1,33 €/kg

3-Schicht



1,29 €/kg

12



BAFA KF 69 %, PLA 31 % - Ergebnisgrößen

1-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	55,2
Herstellungskosten pro Tonne	1.587,29 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.746,02 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,75 €

2-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	110,4
Herstellungskosten pro Tonne	1.476,02 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.623,62 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,62 €

3-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	165,6
Herstellungskosten pro Tonne	1.438,93 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.582,82 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,58 €

Zur Erinnerung:

- Preise: KF: 0,42 €/kg, PLA 2,50 €/kg

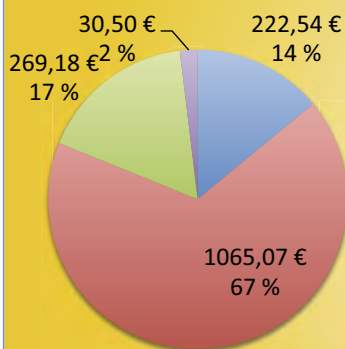
- durchschnittlicher Output pro Betriebsstunde: 368 kg

13

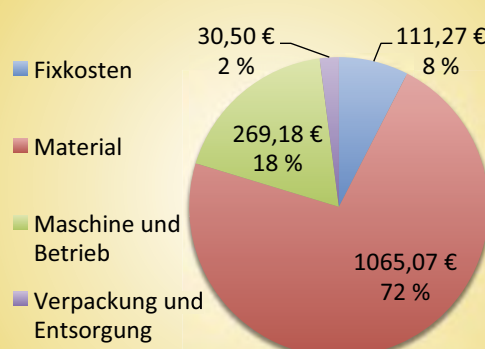


BAFA KF 69 %, PLA 31 % - Kostenverteilung

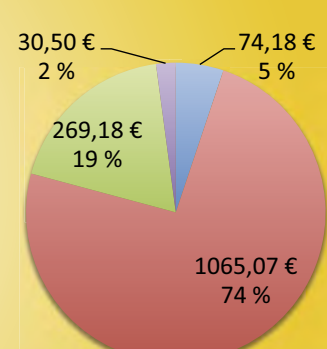
1-Schicht



2-Schicht



3-Schicht



Pelletpreis 1,75 €/kg

1,62 €/kg

1,58 €/kg

14



BAFA VF 76 %, PP 24 % - Ergebnisgrößen

1-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	53,85
Herstellungskosten pro Tonne	1.678,66 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.846,53 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,85 €

2-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	107,7
Herstellungskosten pro Tonne	1.564,61 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.721,07 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,72 €

3-Schicht

Ergebnisgrößen

Gesamtproduktionsmenge in t pro Monat	161,55
Herstellungskosten pro Tonne	1.526,59 €
zzgl. 10% Gewinnmarge	1.679,25 €
Preis (ab Werk) pro Kilogramm	1,68 €

zur Erinnerung:

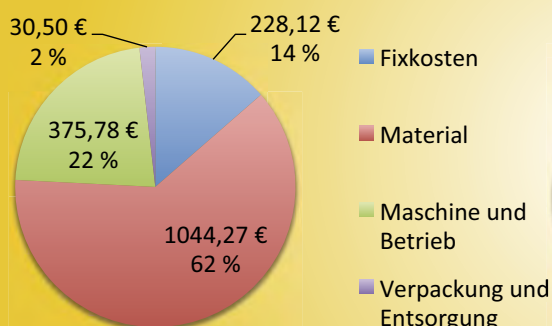
- Preise: VF: 0,90 €/kg, PP 1,50 €/kg
- durchschnittlicher Output pro Betriebsstunde: 359 kg

15



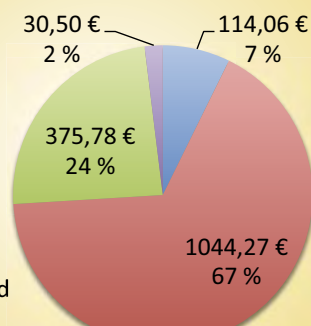
BAFA VF 76 %, PP 24 % - Kostenverteilung

1-Schicht



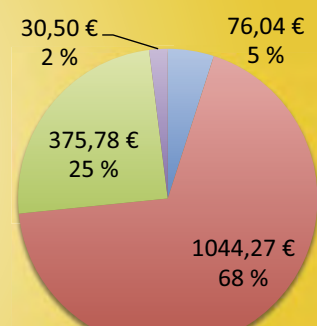
Pelletpreis 1,85 €/kg

2-Schicht



1,72 €/kg

3-Schicht



1,68 €/kg

16



Produktionspreise Hanffaserpellets

	1-Schicht	2-Schicht	3-Schicht
BAFA – KF 100 %	0,85 €	0,77 €	0,75 €
BAFA – SKF 100 %	1,06 €	0,98 €	0,96 €
BAFA – KF 82,5 %, PP 17,5 %	1,09 €	1,00 €	0,97 €
BAFA – KF 60 %, PP 40 %	1,43 €	1,33 €	1,29 €
BAFA – SKF 85 %, PP 15 %	1,15 €	1,08 €	1,06 €
BAFA – KF 69 %, PLA 31 %	1,75 €	1,62 €	1,58 €
BAFA – VF 100 %	1,87 €	1,71 €	1,66 €
BAFA – VF 68 %, PLA 32 %	2,25 €	2,13 €	2,08 €
BAFA – VF 76 %, PP 24 %	1,85 €	1,72 €	1,68 €

jeweils pro kg

17



Zwischenergebnisse Pelletierung

- 1. Pelletierungskosten erfüllen im Wesentlichen die Projektanforderung (max. 1,30 €/kg). Lediglich Pellets mit PLA-Anteil und / oder mit gerissenen, vliesfähigen Fasern können die preisliche Anforderung nicht erfüllen.**
- 2. Pelletpreise hängen primär von den Rohstoffkosten ab – Materialkosten machen rund zwei Drittel, im 3-Schicht-Betrieb etwa drei Viertel der Kosten aus.**

18



Sensitivitäten und Szenarien

Was passiert, wenn sich Kerngrößen ändern?

19



Nachfolgend zunächst zwei Preisindizes, die zeigen, dass

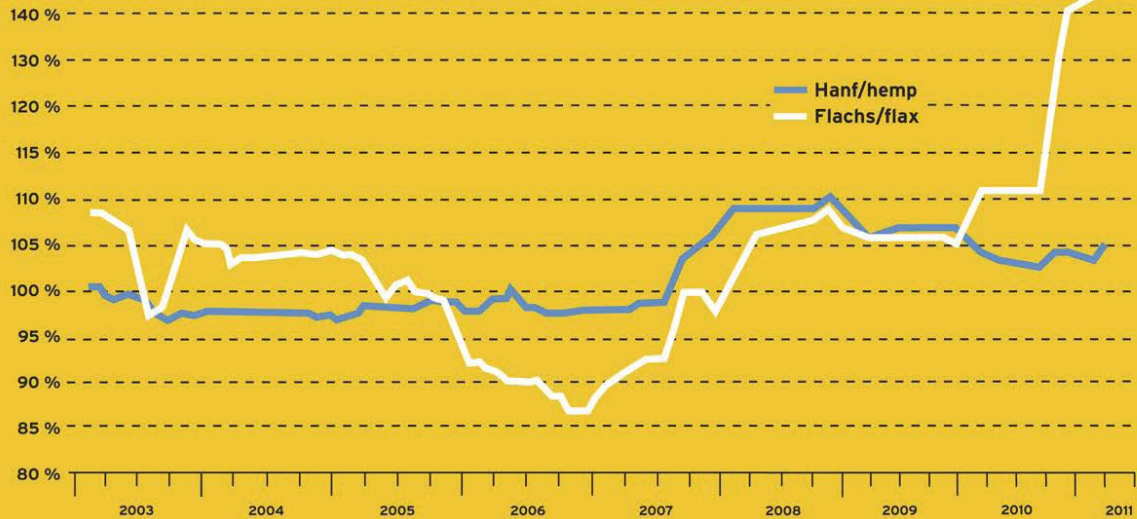
- **der Hanfpreis über die letzten zehn Jahren kaum Veränderung erfuhr.**
- **der Preis für PP im Jahresverlauf deutlichen Schwankungen unterlag.**

Mögliche Schwankungsbreiten bei der Szenariendarstellung wurden hieraus abgeleitet.

20



Preisentwicklungsindex: Technische Kurzfasern Hanf und Flachs



© nova-Institut.de | 2011

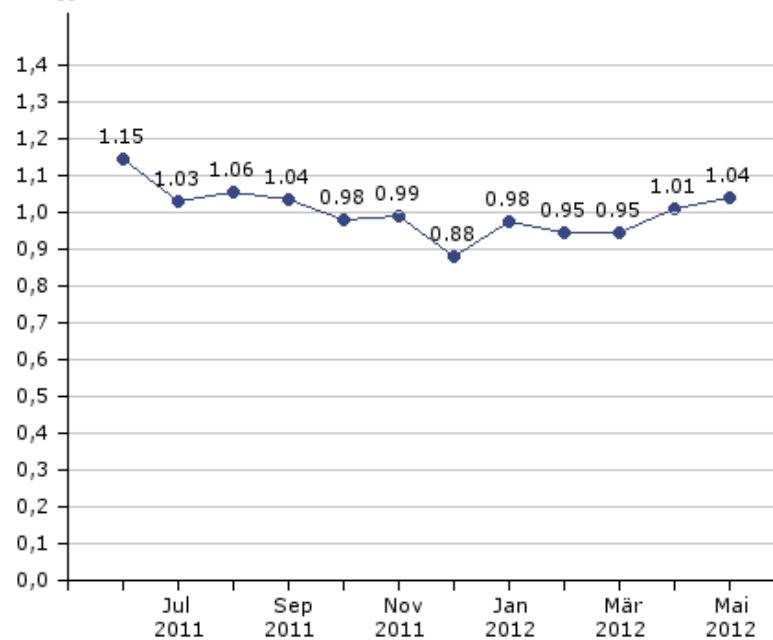
100 % entspricht dem Preis für techn. Hanf-Kurzfasern 2003-03. Basis: Abnahmemenge 100 Tonnen pro Jahr

Quelle: nova-Institut GmbH auf Grundlage zweimonatlicher Preismeldungen von: Agrofibre SAS (F, seit 2009), Badische Naturfaseraufbereitung BaFa GmbH (D), Hemp Technology Ltd. (UK), HempFlax B.V. (NL), Holstein Flachs GmbH (D), Linolitas (LT, bis 2007-12), NAFGO GmbH (D, bis 2008), Procotex SA Corporation (B, bis 2005-10), Sachsen-Leinen GmbH (D, seit 2003-10), SANECO (F, bis 2008).



Preisentwicklung für PP Granulat (12 Monate) (erstellt aus den Angeboten aus der Plasticker-Rohstoffbörse)

[EUR/kg]





BAFA SKF 100 % - Szenario

1-Schicht

Hanffaserpreis		70,8 ct	64,9 ct	59ct	53,6 ct	49,2 ct
Output		+20%	+10%	0	-10%	-20%
475 kg/h	-20%	129	121	114	96	101
518 kg/h	-10%	125	117	110	103	98
570 kg/h	0%	121	114	106	100	94
627 kg/h	+10%	118	110	103	96	91
684 kg/h	+20%	115	108	100	94	88

2-Schicht

Hanffaserpreis		70,8 ct	64,9 ct	59ct	53,6 ct	49,2 ct
Output		+20%	+10%	0	-10%	-20%
475 kg/h	-20%	119	112	104	97	92
518 kg/h	-10%	116	109	101	94	89
570 kg/h	0%	113	106	98	92	86
627 kg/h	+10%	110	103	96	89	84
684 kg/h	+20%	108	101	94	87	82

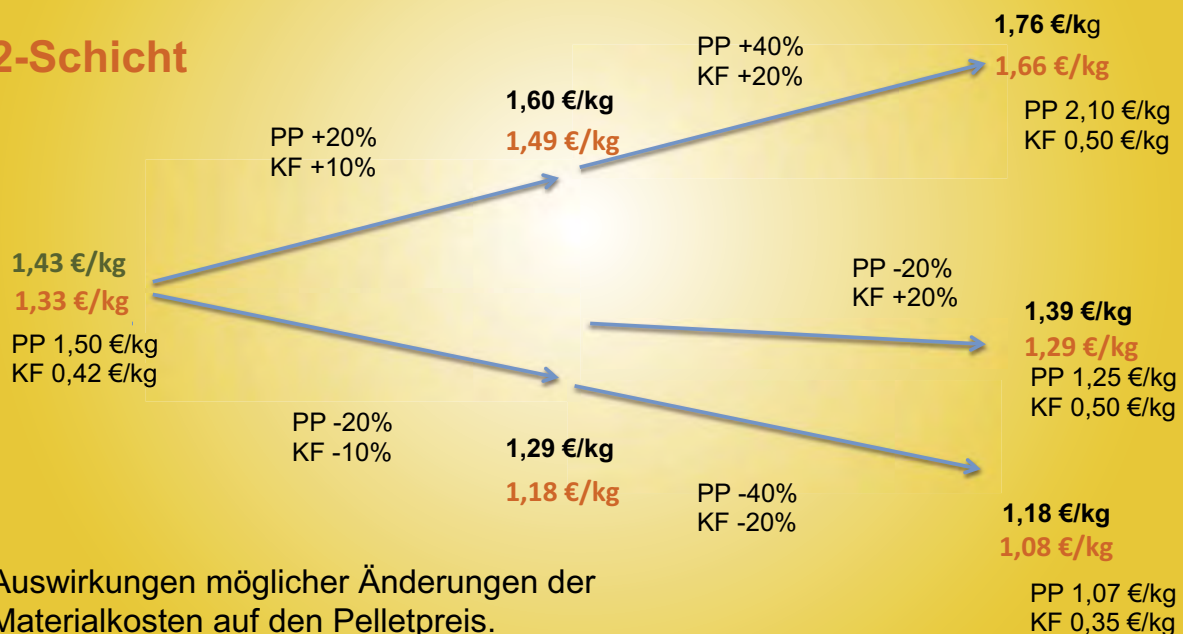
aktueller Pelletproduktionspreis grün unterlegt

23



BAFA KF 60 %, PP 40 % - Szenario 1-Schicht

2-Schicht



24



Übersicht Szenarien

		Ist	Bad Case Hanf +20% PP/PLA +40%	Good Case Hanf -20% PP/PLA -40%
SKF 100 %	1-Schicht	106	121	94
	2-Schicht	98	113	86
KF 60 % PP 40 %	1-Schicht	143	176	118
	2-Schicht	133	166	108
KF 69 % PLA 31 %	1-Schicht	175	217	144
	2-Schicht	162	205	131
VF 76 % PP 24 %	1-Schicht	185	220	157
	2-Schicht	172	207	145

jeweils in €-ct pro kg

25



Weitere Prozessschritte...

26



Prozessschritt Compoundierung

Rechnung für „kleinen Produktionsmaßstab“- PLA mit SKF 100%-Pellets;
zwei Beispiele mit unterschiedlichen Pelletpreisen.

PLA 70%	1,80	€/kg
Hanffaserpellets (30%)	1,10	€/kg
Additive	10,00	€/kg
Rohstoffkosten	1,63	€/kg
Compoundierkosten	1,03	€/kg
min. Abgabepreis	2,66	€/kg

Compound-Vergleichspreise:

PLA 75 % Naturfasern 25 %	3,50	€/kg
PLA 70 % Holz 30 %	3,50	€/kg
PP 70 % Holz 30 %	1,50	€/kg
PLA 20 % Regeneratcellulose 80 %	> 4,10	€/kg

PLA 70%	1,80	€/kg
Hanffaserpellets (30%)	1,90	€/kg
Additive	10,00	€/kg
Rohstoffkosten	1,87	€/kg
Compoundierkosten	1,03	€/kg
min. Abgabepreis	2,90	€/kg

**...auf den ersten Blick:
preislich wettbewerbsfähig!**

**...offen: für welche Anlagen und
Anwendungen sind die Pellets auch
technisch wettbewerbsfähig?**

Kosten für PLA, Additive und Compoundierung nach FKUR.

27



Gesamtergebnisse

1. Das Pelletierungsverfahren ist aus ökonomischer Sicht grundsätzlich eine wettbewerbsfähige Lösung.
2. Die Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass die Wettbewerbsfähigkeit stark rohstoffpreisabhängig ist.
3. Offen: Für welche Anlagen und Anwendungen können die Pellets auch technisch ihren jeweiligen Preis rechtfertigen?

28



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Janpeter Beckmann,

Team Biowerkstoffe, Ressourcenökonomie und Kongressmanagement

E-Mail: janpeter.beckmann@nova-institut.de

nova-Institut GmbH, Chemiepark Knapsack, Industriestrasse, 50354 Huerth, Germany

Tel.: +49 (0) 2233 – 48 14-40 (office), Fax: +49 (0) 2233 – 48 14-50

www.nova-institut.de/

Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion

Julian Schmeling
julian.schmeling@fkur.com
02154 92 51 23
FKuR Kunststoff GmbH
Siemensring 79, 47877 Willich

www.fkur.com

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 1

Inhalt

- Über FKuR
- Maßgeschneiderte Biokunststoffblends
- Anwendungsbeispiele & Möglichkeiten
- Projekt Faserzufuhr

Inhalt

- Über FKuR
 - Maßgeschneiderte Biokunststoffblends
 - Anwendungsbeispiele & Möglichkeiten
 - Projekt Faserzufuhr

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 3

Hintergrund

- GmbH in privater Hand
- Arbeit 1992 als Forschungsinstitut begonnen
- 2003 als Biokunststoff Spin-off neugegründet
- Materialforschung und -Entwicklung in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut UMSICHT, Oberhausen
- Seit September 2009 Sales Office in Cedar Park, Texas/USA
- Markennamen:
 - Bio-Flex[®]: PLA Blends für Extrusion und Spritzguss
 - Biograde[®]: Cellulose Blend für Spritzguss
 - Fibrolon[®]: Naturfaserverstärkte Polymere für Spritzguss
 - Terralene[®]: Bio-PE Compounds auf Basis von Braskems „Green PE“

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 4

Inhalt

- Über FKUR
- Maßgeschneiderte Biokunststoffblends
- Anwendungsbeispiele & Möglichkeiten
- Zusammenfassung

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 5

Maßgeschneiderte Biokunststoffblends



Roh-Biokunststoffe
(auf herk. Maschinen kaum verarbeitbar)

Compounding ist der Schlüssel!



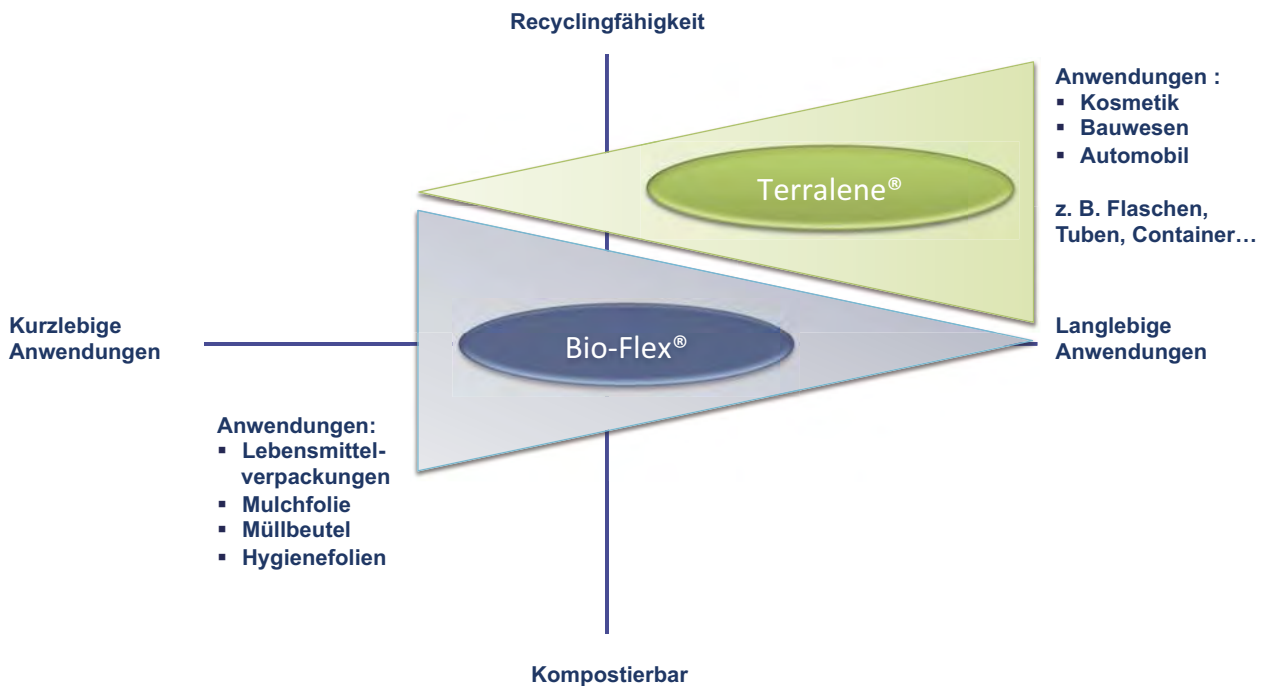
optimal verarbeitungsfähige Biokunststoffe

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 6

Maßgeschneiderte Biokunststoffblends

Sie haben die Wahl:

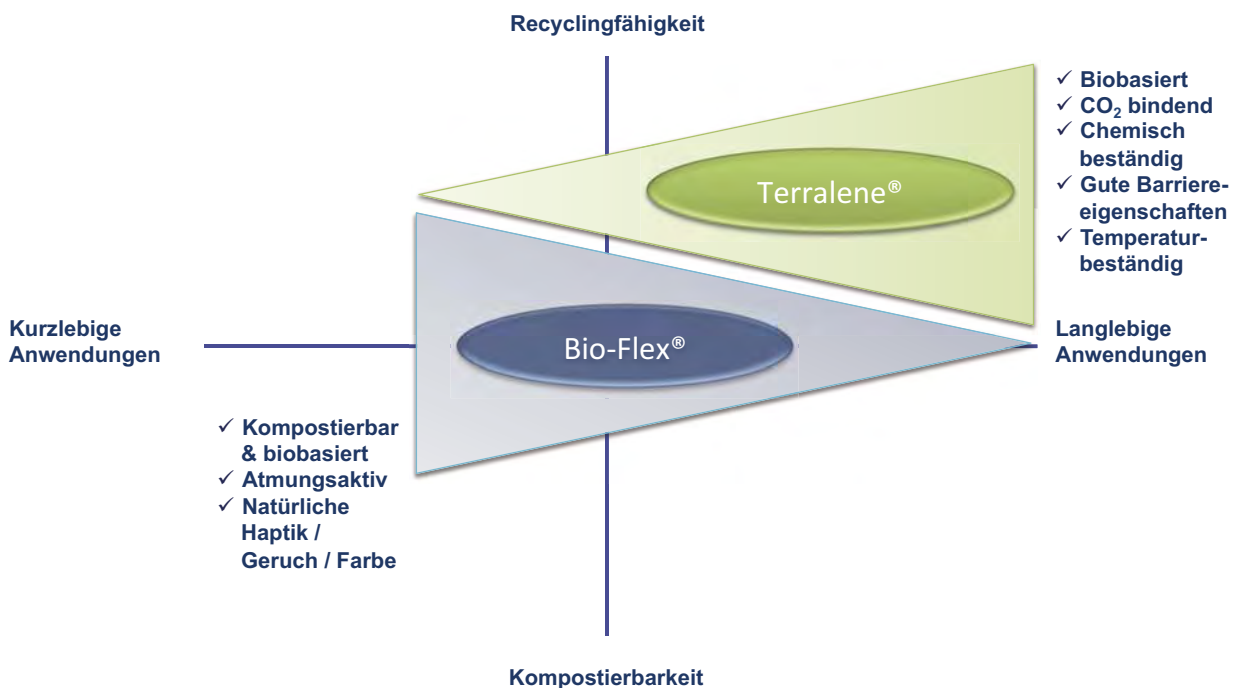


FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 7

Maßgeschneiderte Biokunststoffblends

Sie haben die Wahl:



FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 8

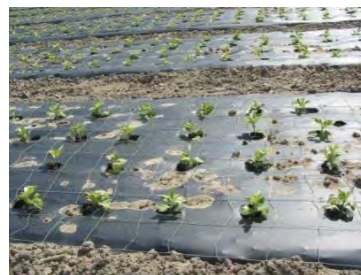
Inhalt

- Über FKUR
- Maßgeschneiderte Biokunststoffblends
- Anwendungsbeispiele & Möglichkeiten
- Projekt Faserzufuhr

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 9

Basics



Bio-Flex® Folien:

- Kompostierbar gemäß EN 13432
- Hervorragende Beständigkeit gegen Feuchtigkeit
- Ausgezeichnetes Verhältnis zwischen Abbau & Performance



FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 10

Computer Peripherie



Quelle: FUJITSU

Biograde® C 7500:

- Hohe Wärmeformbeständigkeit
- Auf bereits vorhandenen Werkzeugen hergestellt
- Spritzguss mit Heißkanalsystemen



FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 11

Beauty & Healthcare



Fibrolon® F 8530 und Bio-Flex® S 5630:

- Erhöhte Produkt-Wertigkeit
- Einzigartige Optik
- Umspritzung von Metalleinlegern möglich



FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 12

Inhalt

- Über FKUR
- Maßgeschneiderte Biokunststoffblends
- Anwendungsbeispiele & Möglichkeiten
- Projekt Faserzufuhr

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 13

Arbeiten im Rahmen des Projektes

- Erste, grundlegende Versuche mit Hanffaser-Pellet-Kleinstmengen am Labor-Walzwerk mit **8KF**
 - Keine, bzw. sehr schlechte Dispergierung
- Compounds am Laborextruder (26/40D) mit **PLA** und **SKF**
 - Gravimetrische Dosierung von PLA
 - volumetrische Dosierung von SKF Pellets
 - Zuführung jeweils über Haupteinzug



FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 14

Compounds mit PLA

- Verwendete PLA Type: Ingeo 3251D → Spritzgusstype MFR 35 g/10min (190°C/2,16 kg)
- Faseranteil: ~30 %
- Prozess-Additiv (Dispergierhilfsmittel): 0,5 %
- Vortrocknung der Hanf-Pellets bei 85°C für 2 h im Wärmeschrank
- Temperaturführung Compoundierung: 150-170°C
- Gesamtdurchsatz: 8 kg/h
- Gute Dispergierung der Pellets trotz schonendem Schneckenprofil
- Düsendruck vergleichsweise hoch
- "Faser-Pullout"



FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 15

Spritzguss von PLA-Hanffaser-Compounds

- Herstellung von Probekörpern (Schulterstäben) für Zugprüfung nach ISO 527
- 600 KN Spritzgießmaschine
- Vortrocknung des Compounds auf <0,2 % Restfeuchte
- Keine Füllprobleme
- Kein Verstopfen der Düse
- Moderate Spritzdrücke (< 1.000 bar)
- Gute Entformbarkeit
- Verkantung der Granulate im Feeder (niedrige Schüttdichte)
- Starke Braunfärbung der Zugstäbe durch Scherung und Temperatur

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 16

Mechanische Charakterisierung

- Zugprüfung nach ISO 527
- Schlagzähigkeits-Prüfung nach ISO 179
- Prüfung bei 23°C; 50 % RLF

	PLA + 30 % Hanf	PLA + 30 % Holz
E-Modul [MPa]	5900	3800
Zugfestigkeit [MPa]	59	34
Bruchdehnung [%]	2,7	3,8
Schlagzähigkeit [KJ/m²]	9,5	11,7

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 17

Zusammenfassung

- Hanf- bzw. Naturfasern unbehandelt auf konventionellen Extrudern nicht verarbeitbar – Zuführung mit gewöhnlicher Dosiertechnik nicht möglich
- Hanffaserpellets machen eine problemlose gravimetrische Dosierung möglich
- Pellet-Form ermöglicht prinzipiell Vortrocknung in konventionellen Trocknern (geringer Staubgehalt vorausgesetzt)
- Compoundierung auf industriellen Maschinen
 - Bessere Dispergierung
 - Höhere Faseranteile möglich
 - Möglichkeit der Vakuumentgasung
 - Bessere Granulierung – Verbesserte Rieselfähigkeit des Granulats
- Mechanische Eigenschaften bieten Potential für technische Anwendungen

FKuR Kunststoff GmbH, Julian Schmeling, Fachtagung Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion, 21.05.2012

Chart 18

Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion

Erfahrungsbericht über die Verarbeitung im Heiz-Kühlmischer

Fachtagung Naturfaserpellets
Köln, am
21. Mai 2012

Dr. Ingo Wolfram



Die H. Hiendl GmbH & Co KG

Das Unternehmen: Hiendl



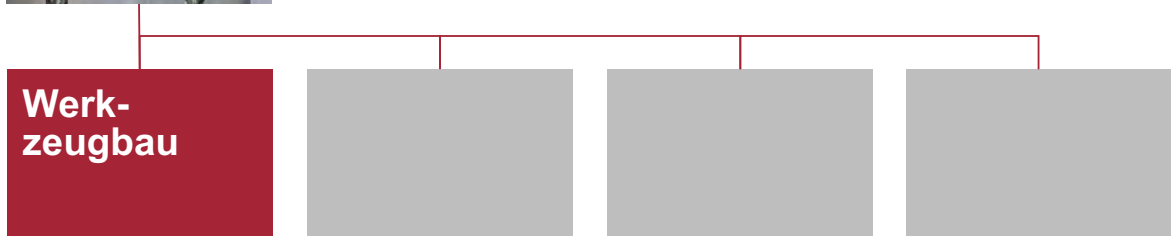
Unser Kompetenzfeld Kunststoff Produktion und Dienstleistung

Unsere Kapazitäten 60 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen



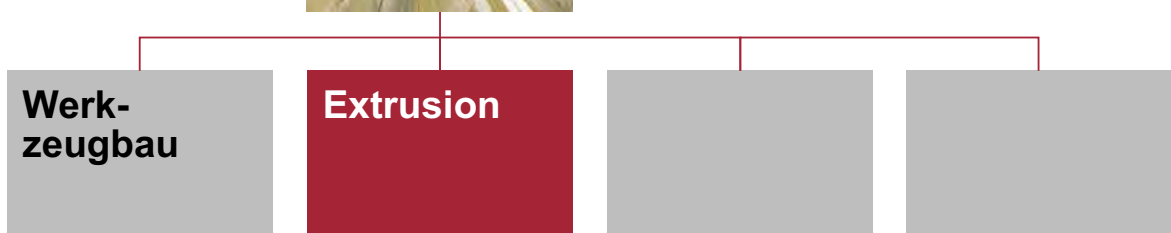
Unsere Kapazitäten

Werkzeugbau
mit modernem CNC Maschinenpark
durchgängige CAD/CAM Kette



Unsere Kapazitäten

Extrusion
27 Extrusionslinien

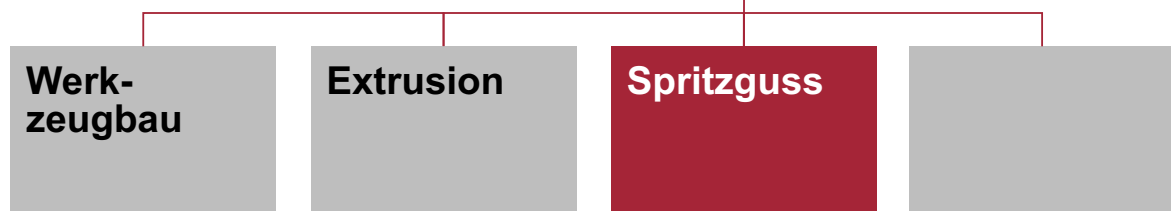


Unsere Kapazitäten

Spritzguss

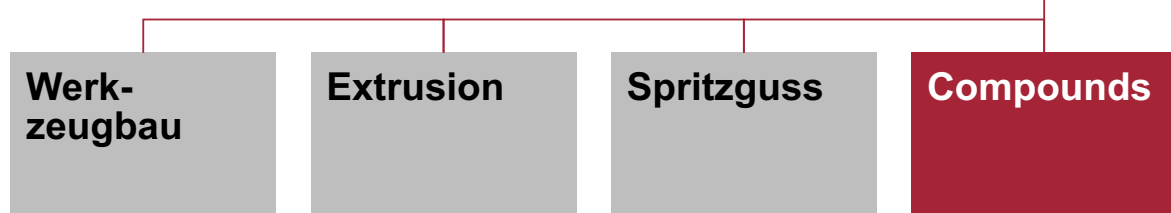
15 Spritzgussmaschinen

mit Schließkräften von 150 bis 8.000 kN



Unsere Kapazitäten

Compoundierung



Unsere Leistungen

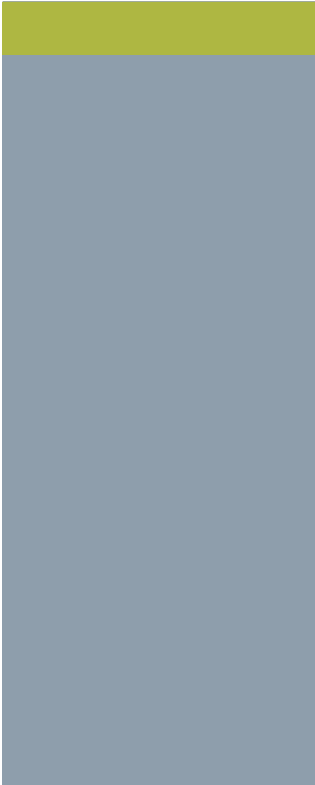
- Lohnfertigung nach Vorgabe mit eigenem Werkzeugbau
- Optimierung von Artikeln in Hinblick auf Produzierbarkeit
- Entwicklung und Produktion spezieller Werkstoffe (konventionell und basierend auf nachwachsenden Rohstoffen)



Unsere Stärken

Beherrschung der gesamten Kette von Artikelgestaltung, über Werkstoffentwicklung und Werkstoffherstellung sowie Werkzeugbau, bis zur Serienproduktion und Auslieferung.





Erfahrungsbericht über die Verarbeitung von Naturfaserpellets im Heiz-Kühl-Mischer



Unsere Aufgabe im Projekt:

Beurteilung der Faserpellets hinsichtlich

- > Dosierbarkeit**
- > Verarbeitbarkeit**

im Heizkühlmischer

mit anschließender Verarbeitung in der

Extrusion

Ziel der Projektteilnahme

**Verbesserung der mechanischen
Eigenschaften von WPC durch
Faserverstärkung mit Naturfasern**



Durchgeführte Versuche:

Versuch 1
8KF



Versuch 2
KF17,8HomoPP



Versuch 3
KF20CoPP



Prozeßschritt 1: Agglomeration im Heiz-Kühl-Mischer



Holzfasern

60%



Naturfasern
aus den
Faserpellets

10%



Kunststoff
und Additive

30%

Ergebnisse Heiz-Kühl-Mischer:

➤ „auf den ersten Blick“:

Standardagglomerat

➤ „auf den zweiten Blick“:

**Faserpellets konnten bei allen Versuchen
nicht vollständig aufgeschlossen werden**

Versuch 1: Agglomerat mit nicht aufgeschlossenen Faserpellets 8KF



Versuch 1: Agglomerat mit nicht aufgeschlossenen Faserpellets 8KF



Versuch 1: Agglomerat mit nicht aufgeschlossenen Faserpellets 8KF



Versuch 2: Agglomerat mit nicht aufgeschlossenen Faserpellets KF17,8HomoPP



Versuch 3: Agglomerat mit nicht aufgeschlossenen Faserpellets KF20CoPP



Zusammenfassung der Versuche im Heiz-Kühl-Mischer:

- Die Faserpellets konnten bei den Versuchen im Heiz-Kühl-Mischer nicht vollständig aufgeschlossen werden.
- Tendenziell zeigte Versuch 3 (KF20CoPP) die geringste Anzahl an nicht aufgeschlossenen Faserpellets

Prozeßschritt 2: Extrusion der Agglomerate

Verwendete Extrusionsanlagen:

- Gegenläufiger, paralleler Doppelschneckenextruder DS65
- Gegenläufiger, konischer Doppelschneckenextruder DS60

Verwendete Werkzeuge:

- Montageprofil MP 90x45
- Probestabwerkzeug 28x6



Ergebnisse Extrusionsversuche:

- Nicht aufgeschlossene Faserpellets aus Versuchen am Heizkühlmischer, konnten auch im Extruder nicht mehr aufgeschlossen werden
- Extrusionsprofile zeigten sichtbare Inhomogenitäten
- Die geringste Anzahl an Einschlüssen zeigte V3 (KF20CoPP), wobei auch hier noch Inhomogenitäten erkennbar waren.

Beispielbilder extrudierter Profile I:

Faserpelleteinschlüsse an der Profiloberfläche V2 (KF17,8HomoPP)



Beispielbilder extrudierter Profile II:

Faserpelleteinschlüsse im Profilquerschnitt V2 (KF17,8HomoPP)



Beispielbilder extrudierter Profile III:

Faserpelleteinschlüsse im Profilquerschnitt V2 (KF17,8HomoPP)



Beispielbilder extrudierter Profile IV:

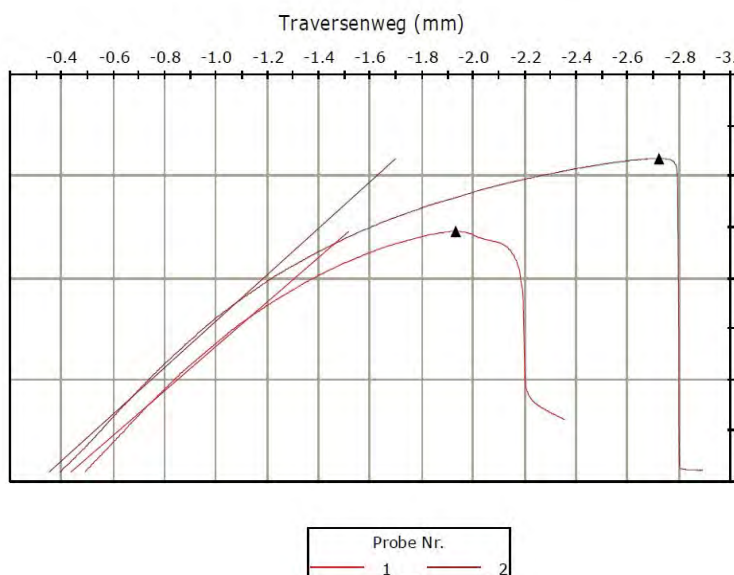
Faserpelleteinschlüsse an Probestäben V3 (KF20CoPP)



Einfluss der Einschlüsse auf die mechanische Eigenschaften:



Einfluss der Einschlüsse auf die mechanische Eigenschaften:



Im 3-Punkt-Biege-Versuch ist ein deutlicher Unterschied im Bruchverhalten bei Proben mit und ohne Pelleteinschlüssen an der Bruchkante erkennbar.

Das Biege-E-Modul der Proben ist annähernd gleich, die Biegefestigkeit ist aber um über 20% geringer.

Bei mechanischer Belastung des Profils könnten die Pelleteinschlüsse als Sollbruchstellen wirken.

Probe 1: mit Pelleteinschluß an der Bruchfläche

Probe 2: ohne Pelleteinschluß an der Bruchfläche

Zusammenfassung:

- Dosierung der Faserpellets über die Saugwaage beim Heiz-Kühlmischer problemlos möglich
- Faserpellets mit/ohne Kunststoff konnten im Heizkühlmischer nicht vollständig aufgeschlossen werden
- Auch bei den extrudierten Profilen waren sichtbare Inhomogenitäten erkennbar
- Tendenziell zeigte Versuch 3 (KF20CoPP) die geringste Anzahl an Einschlüssen
- Bei mechanischer Belastung des Profils könnten die Faserpelleteinschlüsse aber als Sollbruchstellen wirken

Kontaktdaten

H. Hiendl GmbH & Co. KG

Industriestrasse 5 + 6
94327 Bogen-Furth

www.hiendl.de
info@hiendl.de

Ansprechpartner:
Dr. Ingo Wolffram

Fachtagung Naturfaserpellets

Erfahrungsbericht Compoundierung

21.05.2012

Cord Grashorn
Linotech GmbH & Co. KG
Ebersbacher Str. 1
08396 Waldenburg
www.linotech.de
c.grashorn@linotech.de

Vorstellung Linotech

Angepasste Kundenlösungen

- Kundenorientierte Rezepturentwicklung für Spritzgußanwendungen und Extrusion auf Basis von biobasierten Materialien
- Compoundierung

Produktreihe Naturegran

- Biopolymere auf Basis von PLA, PHB und PBS
- Holz- und bastfasergefüllte Compounds auf Basis von PLA und PP

PLA: Spritzguss

Angepasste Compounds

Grundmaterialien:

- sehr spröde und geringe Schlagzähigkeit
- geringe Wärmeformbeständigkeit
- langsame Kristallisation (Zykluszeiten)
- unzureichendes Fließverhalten
- Hydrolyseanfälligkeit bei der Verarbeitung
- preisliche Aspekte

➡ Modifikation notwendig

Spielstabil bioline aus dem Compound Naturegran
Spielstabil – Livemold – Linotech - TU Chemnitz
Biowerkstoffkongress 2012 Innovationspreis: 2. Platz



Spielstabil bioline – Artikel Neuheit auf der Spielwarenmesse 2012 in Nürnberg

- ◆ Garten Set:
- ◆ Pflanzschaufel
- ◆ Rechen
- ◆ Pflanzbecher
- ◆ Topfuntersetzer
- ◆ Setzschild



Verkaufskonzept:

- ◆ Starter-Set Display
- ◆ Einzelartikel



Biokunststoffe für Spielwaren

Anforderungen

- garantierte Haltbarkeit
- Funktionsgerechtigkeit
- Produktsicherheit
- Preis/Verarbeitbarkeit
- Anteil nachwachsender Rohstoffe: Ziel über 70%
- mit ABS vergleichbares Leistungsspektrum
- hohe Farbbrillanz
- außergewöhnliche Robustheit bei Gebrauch und Pflege

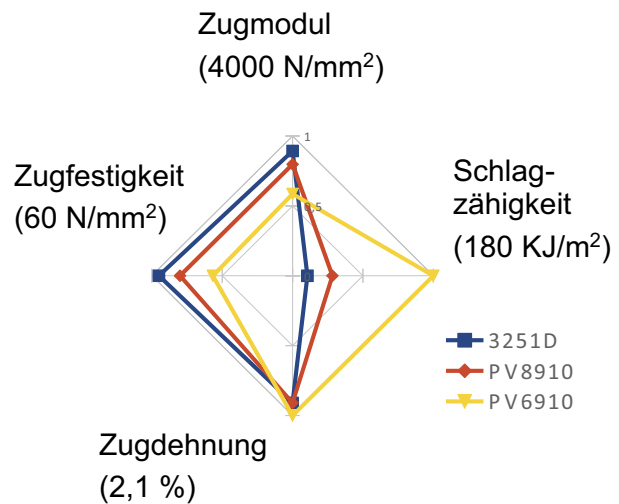


Naturegran: Typenreihe PV

Die Typenreihe PV besteht auf Basis von PLA. Sie zeichnet sich durch ein sehr gutes Fließverhalten bei variabler Schlagzähigkeit und relativ hoher Festigkeit aus.

Die Reihe kann mit entsprechenden Farbbatches eingefärbt werden.

	Zug-modul	Zug-festig-keit	Zug-dehnung	Schlag-zähigkeit
3251D	3570	57	1,91	19
PV8910	3190	48	1,91	51
PV6930	2340	34	2,1	Kein Bruch



Aktuelle Entwicklungen

Dünnwandiges Spritzgußteil (0,4 mm) aus Biopolymeren

- Materialeigenschaften wie LDPE
- Prozesssicherheit bei der Herstellung
- Humantoxologische Unbedenklichkeit / Hautkontakt
- Mehrfachwerkzeug / Fließverhalten

Projekt FENAF: WPC mit hoher Schlagzähigkeit

- Fasern: Holz- und Bastfasern (Flachsfasern)
- Dosierung der Flachsfasern

Naturfasercompoudierung

Naturfasern: Problemstellung Compoundierung

- Konfektionierung / Auslieferung
 - Staubbelastung
 - Saugförderung: Stabilität der Pellets und Faserreste
- Dosierung
 - Kleine Dosierschnecken der Seitenzuführung
- Auflösung der Pellets bei der Compoundierung
- Kneterelemente – Thermische Belastung – Auflösung
- Entgasung/Feuchtigkeit
- Granulierung

Naturfasercompounds

Naturfasern: Problemstellung Verarbeitung Spritzguss

- Fließverhalten
- Thermische Belastung (Schnecken, Düse, Kanal, Werkzeug)
- Werkzeugauslegung
- Fließnähte
- Inhomogenitäten des Fasermaterials
- Prozesssicherheit
- Simulation der Bauteile

Übersicht PP mit Faserfüllungen

Verfügbare PP-Compounds gefüllt mit Holz und Bastfasern

	Einheit	Wert PP-Holz 1	Wert PP-Holz2	Wert PP-Bast
Aussehen		Hellbraun	Hellbraun	dunkelbraun
Faseranteil		50	50	50
Zugfestigkeit	MPa	43	44	60
Zug-E-Modul	MPa	5300	4490	6750
Biegefestigkeit	MPa	65	73	91
Biege-E-Modul	MPa	5000	3949	4900
Charpy ungek.	KJ/m2	11	20	21

Naturfaserpellets

Allgemeine Beurteilung der Pellets

8 mm Pellets / erste Muster:

- zu fest
- zu groß für kleine Compoundieranlagen

5 mm Pellets

- erfolgreiche Verarbeitung möglich
- wurden im Folgenden eingesetzt

Naturfaserpellets

Verarbeitung I: Anlagenbeschreibung

- Anlage: Leistritz ZSE 50
- Dosierung Pellets über Seiteneinspeisung
- Entgasung: 1 x atmosphärisch 1 x Vakuum
- Stranggranulierung
- Pelletierung

Naturfaserpellets

Verarbeitung I: Pellets

eingesetzte Pellets

- Durchmesser 5 mm
- Kurzfaserpellets + 40% Moplen
- Kurzfaserpellets pur
- Superkurzfaserpellets + 20% Moplen
- Kurzfaserpellets + 18% Moplen
- Superkurzfaserpellets pur

Naturfaserpellets

Verarbeitung I: Compoundierung

Rezeptur:

- 78 % PP Copolymer, 2% Haftvermittler, 20 % Pellets
- Die Pellets wurden nicht vorgetrocknet
- es wurden je 20 kg Compounds hergestellt

Naturfaserpellets

Verarbeitung I: Ergebnis Dosierung

Dosierung durch Seiteneinspeisung, gravimetrische Dosierung:

alle Proben konnten zufriedenstellend verarbeitet werden. Es gab keine Störungen. Die Pellets werden durch die Schnecken schon zerdrückt, da die Spaltbreite unter 5 mm.

Mögliche Problembereiche bei einer Serienproduktion:

- Inhomogenität der Pellets / loser Faseranteil
- Lösungen für Saugzuführung ?

Für Rezepturentwicklung über Laborcompounder sind die Pellets noch zu groß.

Naturfaserpellets

Verarbeitung I: Ergebnis Compoundierung

Faserbündelauflösung: OK

Lochplatte: Verstopfungen bei den Compounds mit hohem Moplengehalt (V2 und V3)

Feuchtigkeit: konnte nicht komplett durch die Entgasungen herausgeholt werden. Entweder ist eine Vortrocknung nötig oder es ist eine anlagentechnische Veränderung durch eine dritte Entgasung notwendig

Granulierung: OK

Naturfaserpellets

Verarbeitung 2: Compoundierung auf Technikumsanlage I

Anlage:

- Bersdorff ZE 25
- 2 Entgasungen
- 1 Hauptdosierung + 2 Verwiegeeinheiten
- 2 Seitendosierung + 2 Verwiegeeinheiten
- Schmelzepumpe
- UWG

Naturfaserpellets

Verarbeitung 2: Compoundierung auf Technikumsanlage I

Compoundierung

- Rezeptur
 - PP Homopolymer 63%
 - Pellets 30%
 - Schlagzähigkeitsmodifizier 5 % (Dryblend)
 - Haftvermittler 2 %

Ergebnis:

- Thermische Belastung bei der Compoundierung zu hoch
- Augenscheinlich und geruchsmäßig aber nicht festzustellen

Naturfaserpellets

Verarbeitung 3: Compoundierung auf Technikumsanlage

Anlage:

- Bersdorff ZE 25 42 D
- 1 Hauptdosierung
- 1 Seitendosierung
- 3 Entgasungen
- Stranggranulierung
- schonende Schnecken geometrie



Naturfaserpellets

Verarbeitung 3: Compoundierung auf Technikumsanlage II

Rezeptur

- PP Homopolymer 58 - 63%
- Pellets: VF 35% , SKF 30%
- Schlagzähigkeitsmodifizier 5 %
- Haftvermittler 2 %

Compoundierung

- Vormischung, da Dosierung über Seiteneinspeisung nicht möglich

Naturfaserpellets

Verarbeitung 3: Compoundierung auf Technikumsanlage II

Ergebnis

- gute Pelletaflösung
- thermische Belastung nicht feststellbar

Besonderheiten Pellets VF

- Strangbildung ungleichmäßig

Besonderheiten Pellets SKF

- Strangbildung kein Problem



Zusammenfassung Naturfaserpellets

- Verarbeitung der Pellets 5 mm auf den getesteten Anlagen möglich
 - Wichtig ist das richtige Verhältnis zwischen der Festigkeit der Pellets zum Transport und Auflösbarkeit bei der Seitendosierung
 - Hoher PP-Anteil: keine positiven Auswirkungen feststellbar
 - Geringer PP-Anteil: für die reine Dosierung geringe Effekte; evtl. bessere Auflösung bei der Compoundierung
 - Faserspektrum und Partikelbestandteile sind wichtig für die weitere Verarbeitung
Ziel: möglichst homogenes Spektrum und keine groben Partikel
- ➡ Pellets sind für die Compoundierung einsetzbar



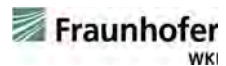
Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion

Präsentation der Ergebnisse der Extrusionsversuche am Fraunhofer-Institut für Holzforschung (Wilhelm-Klauditz-Institut, WKI)

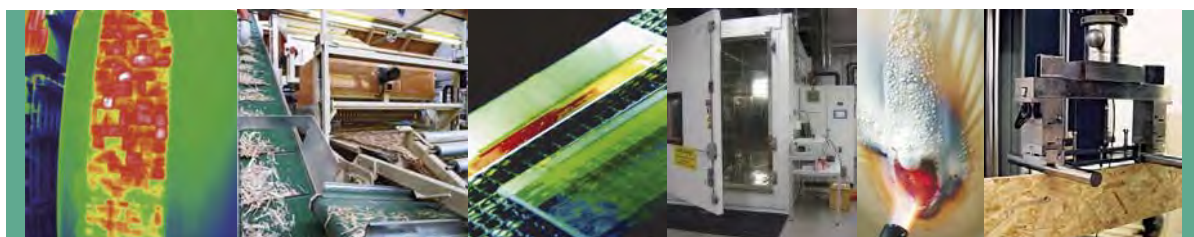
Fachtagung am 21. Mai 2012, Köln

Dr. Arne Schirp

© Fraunhofer WKI



Das Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI



© Fraunhofer WKI



Adresse

**Fraunhofer-Institut für
Holzforschung**
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig
Telefon +49 531 2155-0
Fax +49 531 351587

info@wki.fraunhofer.de
www.wki.fraunhofer.de

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Bohumil Kasal



© Fraunhofer WKI



Das Fraunhofer WKI im Profil

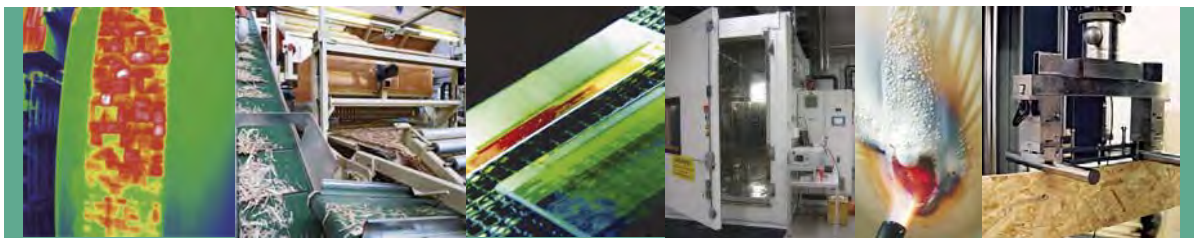
- Herstellung und Verbesserung innovativer Verbundwerkstoffe aus Holz und anderen pflanzlichen Biomassen
- Neue Verfahrenstechniken für die Holzwerkstoff- und Möbelindustrie
- Recycling- und Entsorgungskonzepte für Rest- und Althölzer sowie weitere Reststoffe
- Umweltverträglichkeit der Holzwerkstoffherstellung und –anwendung
- Prüfkammeruntersuchungen an Produkten für den Innenraum
- Akkreditierte Prüfstelle: Materialprüfung und Qualitätsüberwachung
- Oberflächentechnik, Klebstoffchemie, Bauteilentwicklungen und –prüfungen mit Schwerpunkt Holzbauwesen
- Begutachtung bei Schadensfällen, Beratung bei Fragen der Schadenssanierung

© Fraunhofer WKI

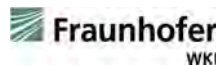


Arbeitsgebiete

- Verfahrens- und Systemtechnik Holzwerkstoffe
- Materialanalytik und Innenluftchemie
- Oberflächentechnologie
- Bautechnik und Konstruktion
- Qualitätsüberwachung und -bewertung



© Fraunhofer WKI



Projekt Naturfaserpellets für Spritzguss und Extrusion – Untersuchungen am WKI

Juli 2011:

- Direktextrusion von hanffaserverstärktem Polypropylen:
 - 70% Hanffaserpellets (ca. 7 mm Ø)
 - 27% PP (Sabic 510A; MFR: 10.5 g / 10 min, 230°C und 2.16 kg)
 - 2% MAPP (Scona TPPP 8112 FA, Byk-Kometra)
 - 1% Gleitmittel (Licolub H12, Clariant)
- Trocknung der Hanfpellets von 10.3% auf 0.5% Feuchte
- Dosierung von Hanfpellets, PP und Additiven jeweils über einen Dosierer

© Fraunhofer WKI



Fortsetzung Untersuchungen Juli 2011

- Direktextrusion mit gegenläufigem, konischen Doppelschneckenextruder; 54 mm Schnecken- $\varnothing$ und Stopfwerk
- Dosierrate: 20 kg/h
- Massetemperatur: 182°C
- Druck: max. 140 bar
- Handmuster liegt aus

© Fraunhofer WKI



Direktextrusion



© Fraunhofer WKI



Extrudierte Profile (Juli 2011)

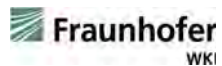


Geriffelte Seite



Glatte Seite

© Fraunhofer WKI



Compoundierung und Profilextrusion (August 2011)

- Agglomerierung im Heiz-Mischer, Abkühlung und Nachzerkleinerung im Pflugscharmischer
- Feuchtegehalt des Agglomerats vor Extrusion 1-2%
- Extrusion auf gegenläufigem, konischen Doppelschneckenextruder
- Dosierate: 6 kg/h
- Massetemperatur ca. 180°C, Druck max. 200 bar
- Hohlkammerprofile mit drei Kammern (70 mm x 17 mm, Wandstärke 4 mm, glatte Oberfläche)

© Fraunhofer WKI



Compoundierung im Heizmischer



© Fraunhofer WKI



Agglomerat aus Hanfpellets, PP u. Additiven nach Aufbereitung im Heizmischer



© Fraunhofer WKI



Extrudiertes Hohlkammerprofil



Profilgeometrie (andere Rezeptur!)



Oberfläche der Profile – Verteilung des Hanfes besser als bei Direktextrusion

© Fraunhofer WKI



Direktextrusion - November 2011

Hanffaserpellets Typ KF mit 40% Moplen HF 501N

■ Rezeptur:

- 97% Hanffaserpellets Typ KF mit 40% Moplen
- 2% MAPP (Scona TPPP 8112 FA, Byk-Kometra)
- 1% Gleitmittel (Licolub H12, Clariant)

■ Dosierung der Pellets und Additive jeweils über einen Dosierer

■ Extrusion auf gegenläufigem, konischen Doppelschneckenextruder (54 mmØ)

■ Dosierrate 10 kg/h

■ Massetemperatur ca. 180°C, Druck ca. 100 bar

© Fraunhofer WKI



Direktextrusion – November 2011

- Extrudiertes Profil mit vier Hohlkammern, 120 mm Breite, 23 mm Dicke, 4 mm Wandstärke
- Eine Seite geriffelt, eine Seite glatt
- Gute Auflösung und Verteilung der Pellets in Matrix
- 6 Abschnitte von je 20 cm Länge wurden nach Bremen übersendet
- Handmuster liegt aus

© Fraunhofer WKI



Direktextrusionen – Mai 2012

- Extrusion weiterer Hanffaserpellets mit unterschiedlichen Polymertypen
- Variante A: Ergänzung des Polymeranteils bei Direktextrusion, so dass immer 37% Gewichtsanteil Polymer vorhanden $\Rightarrow$ Zudosierung von weiterem Kunststoff in Pulverform bei der Direktextrusion
- Variante B: Direktextrusion der Hanffaser-Polymer-Pellets ohne Zugabe weiterer Komponenten bei Direktextrusion

© Fraunhofer WKI



Direktextrusionen – Mai 2012

8.5.2012	120508-A	Hanffaserpellets VF gerissen mit 27% Moplen HF501N	87%
		Moplen HF501N	10%
		MAPP (Scona TPPP 8112FA)	2%
		Gleitmittel (Licolub H12)	1%

⇒ **Gut extrudierbar, siehe Handmuster**

© Fraunhofer WKI



Direktextrusionen – Mai 2012

8.5.2012	120508-B	Hanffaserpellets KF mit 20% Moplen HF501N	80%
		Moplen HF501N	17%
		MAPP (Scona TPPP 8112FA)	2%
		Gleitmittel (Licolub H12)	1%

⇒ **Kunststoffschicht trennte sich von Fasern; nicht extrudierbar**

© Fraunhofer WKI

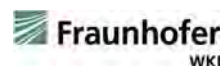


Direktextrusionen – Mai 2012

8.5.2012	120508-C	Hanffaserpellets VF gerissen mit 24% Moplen EF300K	84%
		Moplen EF300K	13%
		MAPP (Scona TPPP 8112FA)	2%
		Gleitmittel (Licolub H12)	1%

⇒ **Gut extrudierbar, siehe Handmuster**

© Fraunhofer WKI



Direktextrusionen – Mai 2012

9.5.2012	120509-A	Hanffaserpellets KF mit 20% Moplen HF501N	100%
	120509-B	Hanffaserpellets VF gerissen mit 27% Moplen HF501N	100%
10.5.2012	120510-A	Hanffaserpellets VF gerissen mit 24% Moplen EF300K	100%
	120510-B	Hanffaserpellets KF mit 40% Moplen HF501N	100%
11.5.2012	120511-A	Hanffaserpellets VF gerissen mit 32% PLA (brennt im Werkzeug!)	100%

⇒ **Alle Varianten bis auf PLA-Variante gut extrudierbar; siehe Handmuster**

© Fraunhofer WKI



Schlussfolgerungen

- Direktextrusion von Hanffaserpellets zu Profilen ist gut möglich, wenn die Pellets einen Polymeranteil enthalten
- Damit Verzicht auf Compoundierungsschritt (zusätzliche thermische und mechanische Belastung!) und Kosteneinsparung möglich
- Je weniger Kunststoff zusätzlich bei der Direktextrusion zugegeben werden muss, desto geringer die Gefahr der Entmischung der Komponenten
- Können Additive (MAPP etc.) schon bei der Pelletierung zugegeben werden?

Ergebnisse der Untersuchungen

Katharina Haag & Jörg Müssig

Hochschule Bremen – Fakultät 5, Abteilung Bionik – Biologische
Werkstoffe



Abschlussbericht

Juni 2012



Kontaktdaten:
katharina.haag@hs-bremen.de / Tel.: 0421 - 5905 2718



Übersicht

- Ausgangslage
- Kurzvorstellung der Methoden
- Optimierungsschleife Extrusion (WKI)
- Homogenität und Reproduzierbarkeit der Extrusions-Ergebnisse (hiendl)
- Unterschiedliche Faserpellets und Fasertypen mit PP im Spritzguss (Linotech)
- 100% Biobasiert: Hanfpellets mit PLA im Spritzguss (FKUR)
- Ergänzende Messungen
- Zusammenfassung
- Quellen





Ausgangslage

Umfrage im Juni 2010 zu ersten Pelletarten:

Pelletprobe 1 (Durchmesser 8,2 mm)	sehr gut (gering)		mittel	(hoch) schlecht	
Gleichmäßigkeit	0	3	0	0	0
Auflösbarkeit	0	0	0	1	2
Dosierbarkeit	0	1	1.5	0.5	0
Staubanteil	3	0	0	0	0
Generelle Einsatztauglichkeit	0	0	0	2	0
Bemerkungen	schlechte Auflösbarkeit vermutlich bedingt durch schlecht Auflösbarkeit; Gleichmäßigkeit gut, aber zu lang, Dosierbarkeit abhängig von Anlage, vermutlich nur auf Großanlage einsetzbar; generelle Einsatztauglichkeit ist zu prüfen				
Pelletprobe 2 (Durchmesser 6,3 mm)	sehr gut (gering)		mittel	(hoch) schlecht	
Gleichmäßigkeit	0	0	2	0	1
Auflösbarkeit	0	1	0	1	1
Dosierbarkeit	0	1	1	1	0
Staubanteil	1	0	1	1	0
Generelle Einsatztauglichkeit	0	0	0	2	0
Bemerkungen	schlechte Auflösbarkeit vermutlich bedingt durch schlecht Auflösbarkeit; generelle Einsatztauglichkeit ist zu prüfen				

➔ Schlechte Auflösbarkeit, geringe Einsatztauglichkeit

➔ Optimierungsschleifen notwendig!

Kurzvorstellung der Methoden

Dieser Abschnitt behandelt kurz die verwendeten Methoden. Es sind die verwendeten Geräte und Parameter benannt, die für die Prüfung verwendet wurden.

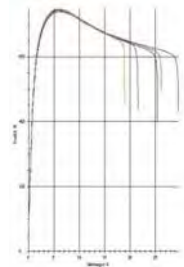
Bestimmung der mech. Eigenschaften Zug- und Biegeprüfung an Verbundwerkstoffen



Zwick/Roell Universalprüfmaschine 2020 (Zwick/Roell, Ulm)

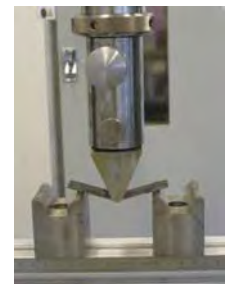
Zugprüfung:

- Pneumatische Klemmen
- Kraftmessdose 20 kN
- gemäß DIN EN ISO 527-4 (1997)
- Probenkörper: Schulterstab (Typ 1B)
- Dehnungsmessung mit optischem Messsystem videoXtens (Zwick/Roell)



3-Punkt-Biegeprüfung:

- Kraftmessdose 20 kN
- gemäß DIN EN ISO 14125 (1998)
- Probenkörper: Klasse I



Klimatisierung der Proben gemäß DIN EN ISO 291
für >24 h bei 23°C / 65% RH

5

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Bestimmung der mech. Eigenschaften Charpy-Schlagzähigkeit von Verbundwerkstoffen



Bestimmung der Schlagzähigkeit nach Charpy

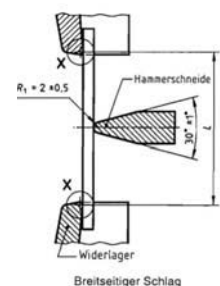
Pendelschlagwerk Zwick/Roell 5102

- 4J-Pendelhammer
- Klimatisierung für > 24 h bei 23°C / 50% RH vor der Prüfung
- Gemäß DIN EN ISO 179 (1997)
- Auflagerabstand 40 mm

$$a_{cU} = \frac{W}{h \cdot b} \times 10^3$$

mit:

- W korrigierte Arbeit in J
 h Dicke des Probekörpers in mm
 b Breite des Probekörpers in mm



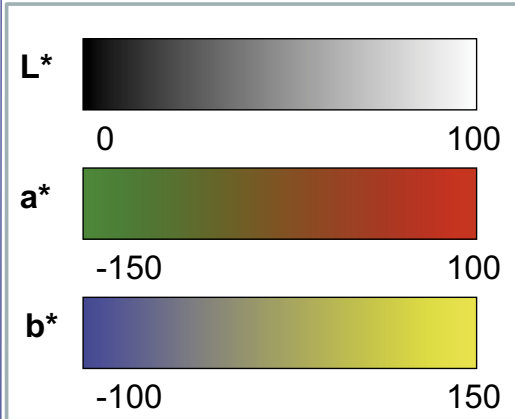
6

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Farbmessung

Charakterisierung der Farbe von Oberflächen im L*-a*-b*-Farbraum

Kurzvorstellung der Methoden



- 3-dimensionaler Farbraum
- Unterschiedliche Farbwerte weisen auf Beeinflussung der Fasern hin
- X-rite Spektrometer SP62
- 50 unabhängige Messungen/Probe



7

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Bruchflächenanalyse im Rasterelektronenmikroskop



Charakterisierung der Bruchflächen der Verbundwerkstoffe

BALTEC Sputter Coater SCD 005 (Bal-Tec, Liechtenstein)

- Besputtert für 90 s mit Goldschicht, Spannung: 56 mA

REM Jeol 6510 (JEOL GmbH, Eching)

- Beschleunigungsspannung 1 kV

Kurzvorstellung der Methoden



8

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Faserextraktion

- Extraktion der Naturfasern aus den Compound- und Verbundproben
- Charakterisierung der Fasern
 - Bestimmung des Fasermasseanteils
 - Bildanalyse



Filtertiegel: 30 ml,
Höhe: 5 cm, $\varnothing$ = 3 cm, Porosität 1

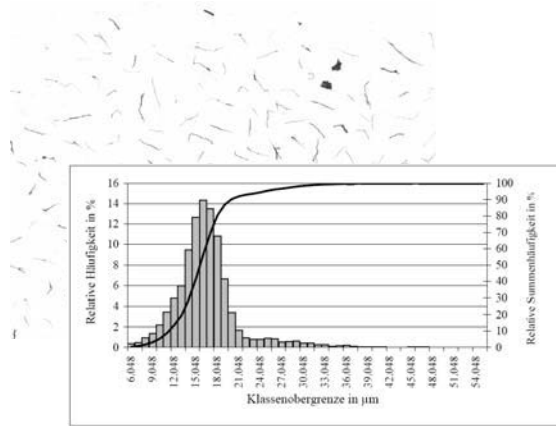
Compound- und Verbundproben
(ca. 1 g) in Filtertiegeln
24 h Klimatisierung bei 20 °C,
65 % RH

Faserextraktion

- Auflösen des Polymers in kochendem Xylol (organisches Lösungsmittel, Siedetemperatur: 130 °C – 140 °C)
- Abziehen des Xylols mit gelöstem Polymer mit Wasserstrahlpumpe
- Zur Validierung dienen Compound- und Spritzguss- Referenzproben
- 1/2 h Trocknen bei 105 °C → Bestimmung der Trockenmasse der Fasern
- 24 h Klimatisierung bei 20 °C & 65 % RH: Bestimmung der Masse der Fasern
- Messunsicherheit: bis zu ± 3 % Faseranteil



Faserlängen & -breiten: Fibreshape



Bildanalyzesystem Fibreshape (IST AG, Vilters, Switzerland)

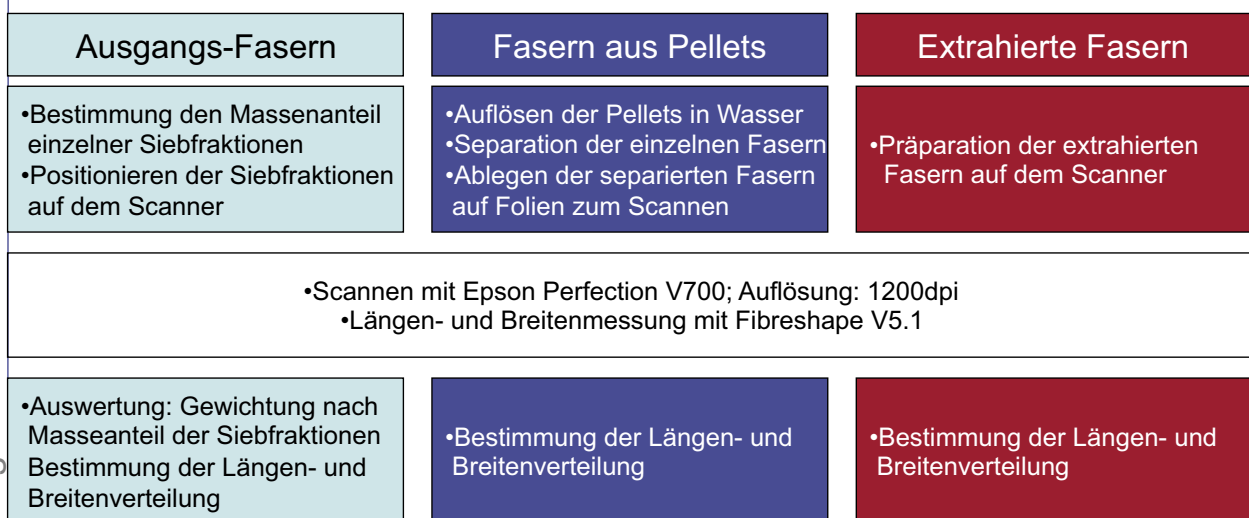
- Analyse-Software Fibreshape 5.1
- Bestimmung von Längen- & Breitenverteilungen
- Hochauflösende Scanner (bis zu 4000 dpi)
- >5000 Messwerte pro Probe

Kurzvorstellung der Methoden

11

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Präparation der Fasern für die Analyse mit Fibreshape

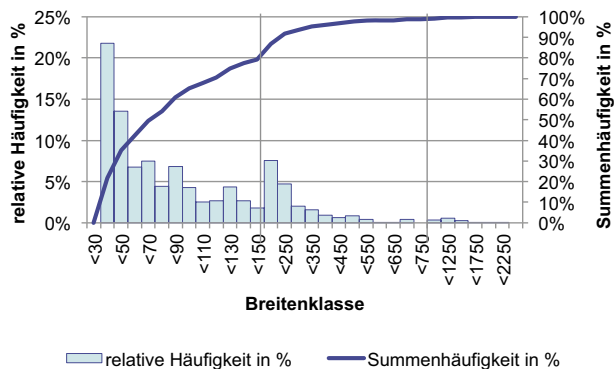


Kurzvorstellung der Methoden

12

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Faserlängen & -breiten: Aufbereitung der Fibreshape-Messdaten



Faserbreite in µm		Klassen- breite in µm
von	bis	
30	150	10
150	750	50
750	2500	250

Faserlänge in µm		Klassen- breite in µm
von	bis	
300	1200	50
1200	6000	200
6000	40000	1000
40000	90000	5000

- Klassierung der Messwerte: Um die Klassenzahl zu limitieren und dennoch in den unteren Bereichen eine ausreichend hohe Auflösung der Klassenbreite zu gewährleisten, wurde die Klassenbreite stufenweise angepasst (vgl. Tabellen)
- aufgetragen werden relative Häufigkeiten (Histogramm) und/oder Summenhäufigkeiten (Liniendiagramm) über die Breiten- bzw. Längen-Klassen

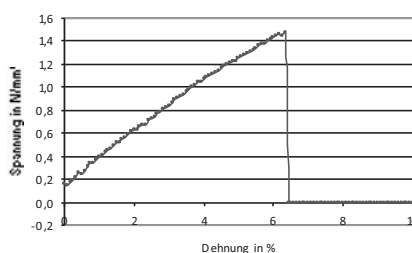
13

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Faserzugversuche



Charakterisierung der Fasern vor der Pelletierung

**Fafegraph M** (Comp. Texttechno, Mönchengladbach)

- Pneumatische Klemmen
- Kraftmessdose 1000 cN
- Einspannlänge 3.2 mm
- Verfahrgeschwindigkeit 2mm/min
- Maximale Dehnung 15 % (ohne Dehnungskorrektur)
- Berechnung der Querschnittsflächen mit Hilfe von Hanffaserbündel-Flächenkorrelationsmodell

14

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Bestimmung des Staubanteils in den Pellets

Untersuchung einer repräsentativen Stichprobe von 50-100 g



Definition Pelletanteil:

Verpresste Faserprobe mit rundem Querschnitt

Massebestimmung von

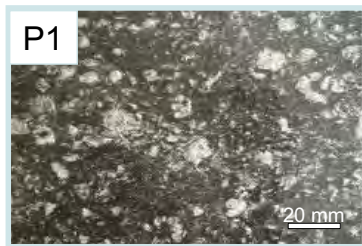
- der gesamten Stichprobe
- dem Pelletanteil
- dem Staubanteil

Verwendung der Präzisionswaage Kern ABT 120-5MM (d = 0,0001 g; Kern und Sohn GmbH, Balingen)

Optimierungsschleife Extrusion

Am Beispiel der am Fraunhofer-Institut WKI in Braunschweig hergestellten Proben wird in diesem Abschnitt aufgezeigt, wie sich die Pellets und die daraus hergestellten Extrusionsprofile im Verlaufe des Projekts und der durchlaufenen Optimierungsschleifen verändert haben.

Hergestellte Profile und verwendete Pellets



Pellets 06/2011

Optimierte Pellets
09/2011

Direktextrusion

Compoundierung
+ Extrusion

Direktextrusion

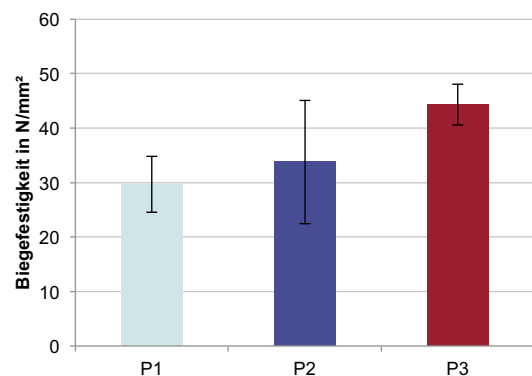
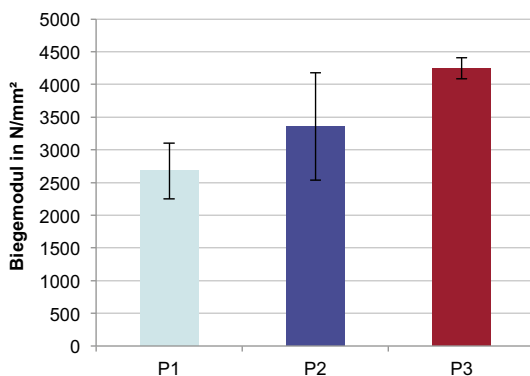
➔ Verbesserung der mechanischen Eigenschaften?
Bessere Auflösbarkeit der Pellets?

Optimierungsschleife Extrusion

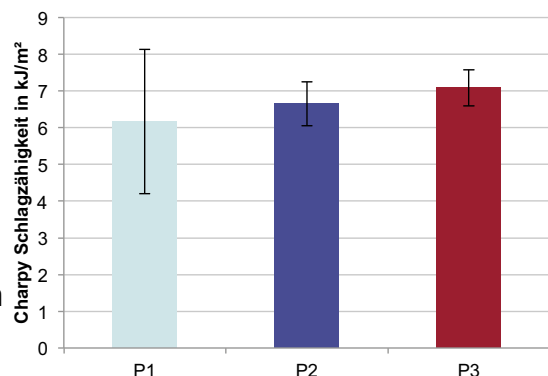
17

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Mechanische Eigenschaften



- Verbesserte Eigenschaften durch Compoundierung (P2)
 - Weitere Verbesserung durch bessere Pellets (P3)
- ➔ Durch Optimierung:
- Höhere Steifigkeiten und Festigkeiten
 - Tendenz zu höheren Schlagzähigkeiten
 - Homogenere Eigenschaften



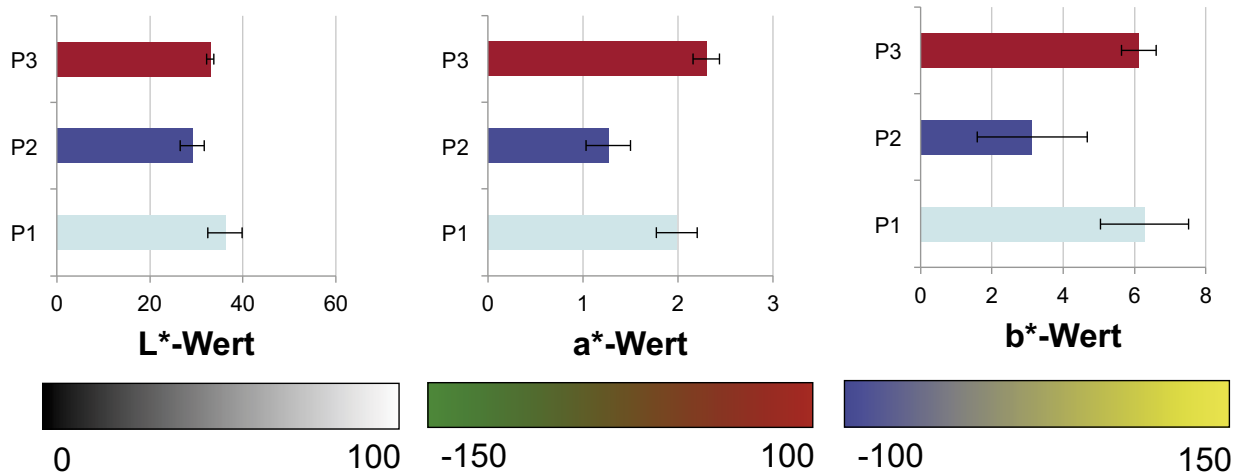
Optimierungsschleife Extrusion

18

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Einfluss der Compoundierung / Farbmessung

Optimierungsschleife Extrusion



Beeinflussung der Fasern durch zusätzlichen Verarbeitungsschritt
Compoundierung bei P2

➔ veränderte Farbwerte deuten auf Faserschädigung durch
zusätzliche thermische Belastung hin

Homogenere Farbwerte bei P3

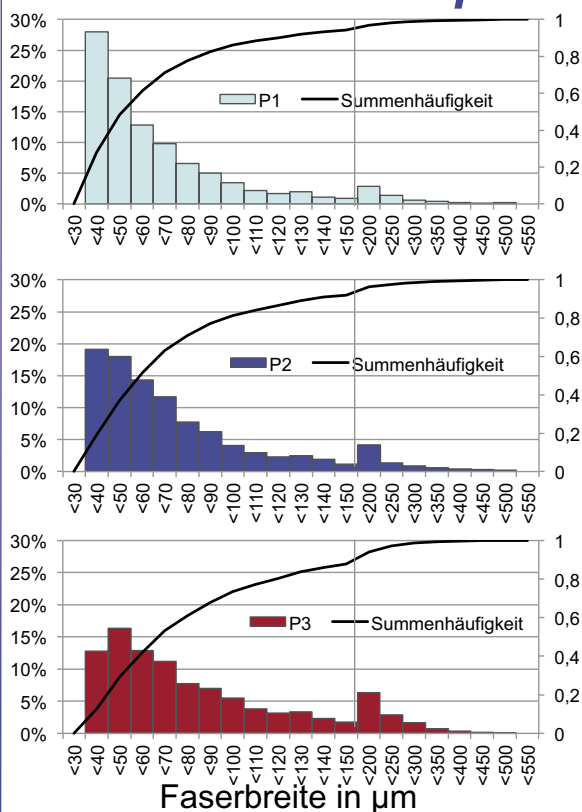
➔ homogenere Verarbeitung bei Verwendung optimierter Pellets

19

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Einfluss der Compoundierung / FibreShape

Optimierungsschleife Extrusion



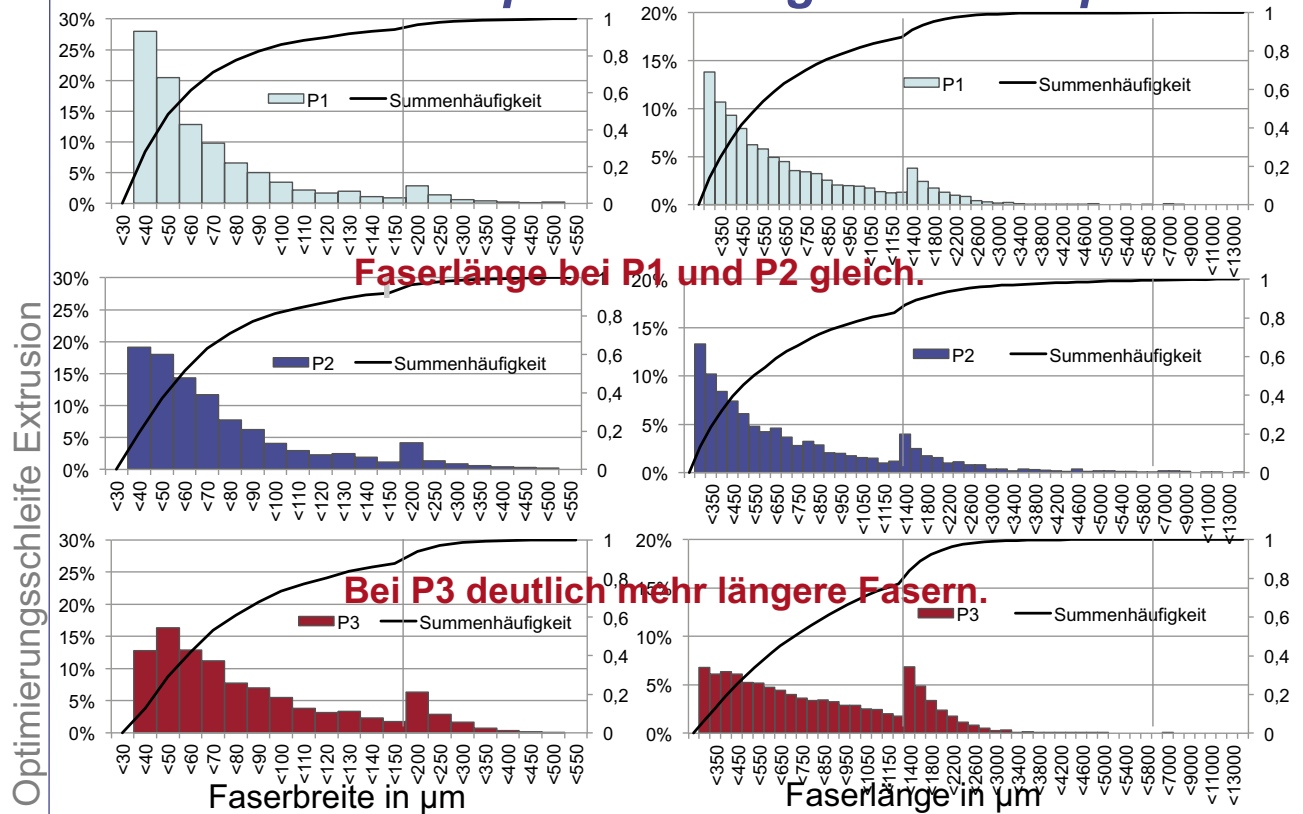
➔ Faserbreite nimmt zu
von P1 zu P3

➔ Faserschädigung
nimmt ab!

20

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Einfluss der Compoundierung / FibreShape

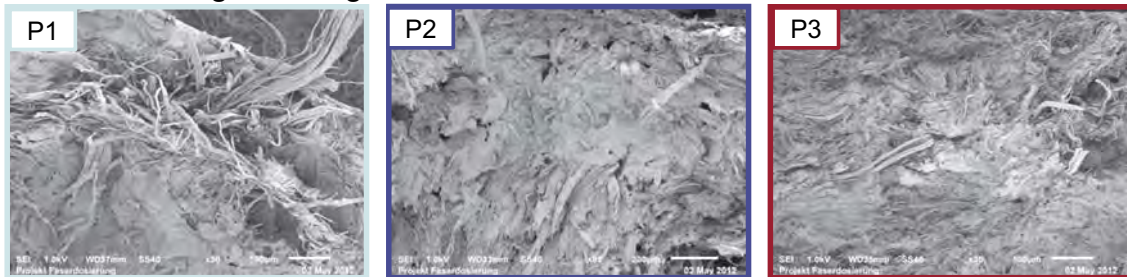


21

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Homogenität der Bruchflächen - REM

30-fache Vergrößerung



100-fache Vergrößerung



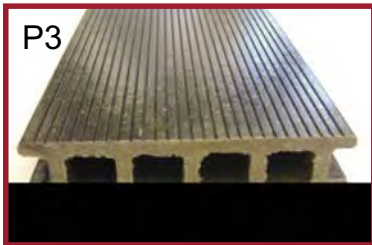
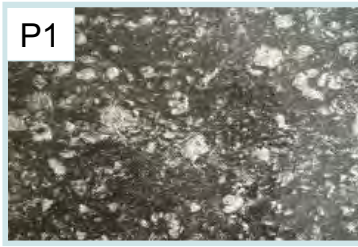
➔ Deutlich homogenere Bruchflächen mit optimierten Pellets durch bessere Auflösbarkeit der Pellets!

22

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Optimierungsschleife Extrusion

Optimierungsschleife Extrusion



Verbesserung der mechanischen Eigenschaften durch Zwischenschritt Compoundierung,

aber: Farbveränderung + Mehraufwand/ Mehrkosten

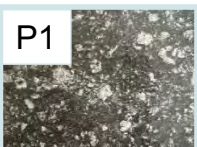
Noch bessere Eigenschaften durch Verwendung optimierter Pellets mit besserer Auflösbarkeit

23

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Optimierungsschleife Extrusion

Optimierungsschleife Extrusion



➔ Weitere Versuche / Optimierungen:

- Vliesfähige Fasern ebenfalls verarbeitbar
- Zudosierung von Polymer direkt im Extruder: trotzdem gute Auflösbarkeit der Pellets
- durch Verwendung eines Impactmodifizierten Copolymers (Moplen EF300K): Steigerung der Schlagzähigkeit um 50-70% im Vergleich zum Homopolymer

24

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Homogenität und Reproduzierbarkeit der Extrusions-Ergebnisse

Am Beispiel der bei der Firma Hiendl hergestellten Extrusionsprofile mit einer Rezeptur von 60% Holzfasern, 30% Polymeranteil und 10% Faserpellets werden in diesem Abschnitt die Aspekte der Homogenität innerhalb der hergestellten Bauteile und der Reproduzierbarkeit erläutert.

25

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Extrusion mit Holz- und Hanffasern: Homogenität und Reproduzierbarkeit am Beispiel der hiendl-Profile

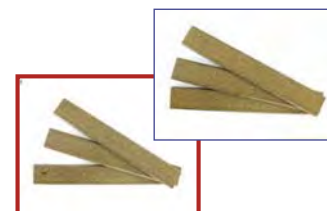
- Homogenität der Eigenschaften innerhalb eines Profils



- Vergleich unterschiedlicher Profile



- Reproduzierbarkeit der Pelleteigenschaften
- Homo-/ Copolymer im Pellet

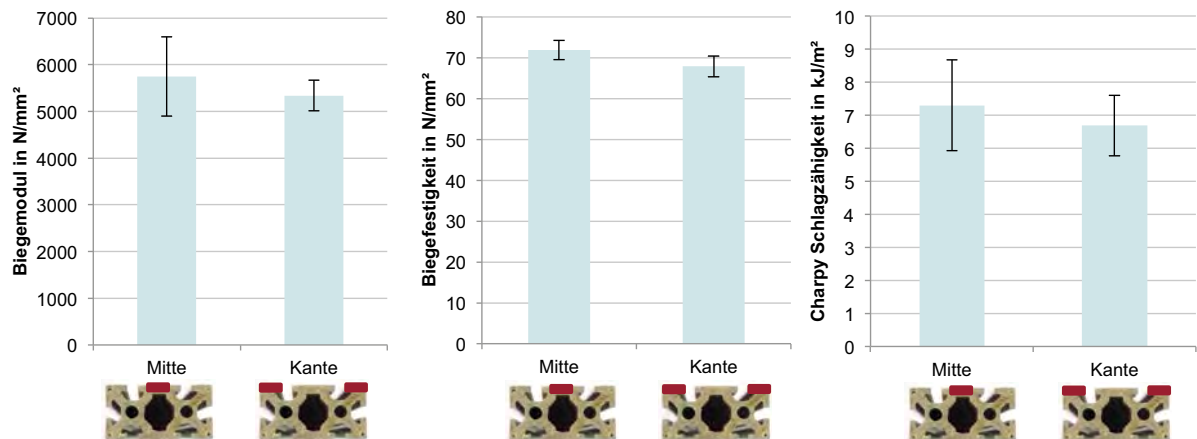


Homogenität & Reproduzierbarkeit

26

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Homogenität der Eigenschaften innerhalb eines Profils



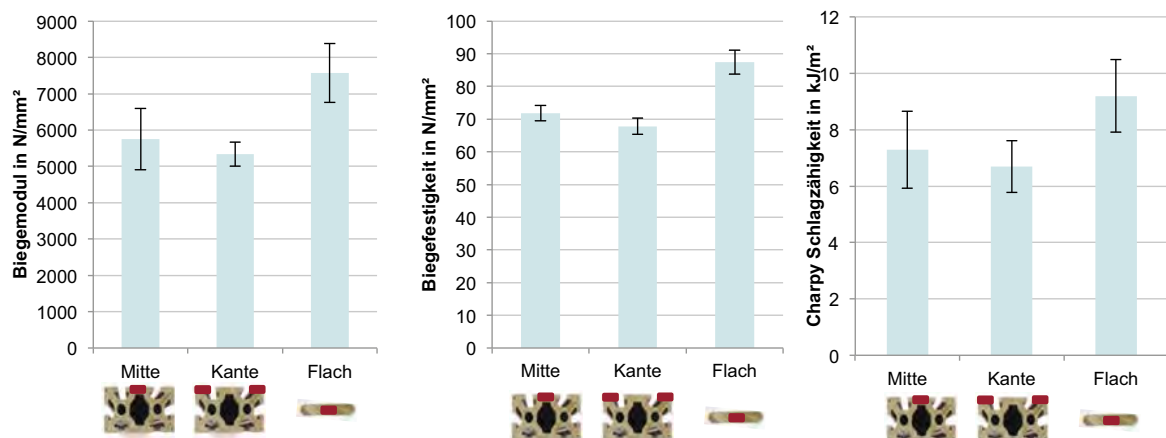
➡ Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Positionen im gleichen Profil

Homogenität & Reproduzierbarkeit

27

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Einfluss der Profilform auf die Eigenschaften



➡ Deutlicher Einfluss des Profils erkennbar bei Verwendung des gleichen Compounds!

➡ Vermutung:
Veränderung der Faserlängen / -breiten bei der Extrusion?

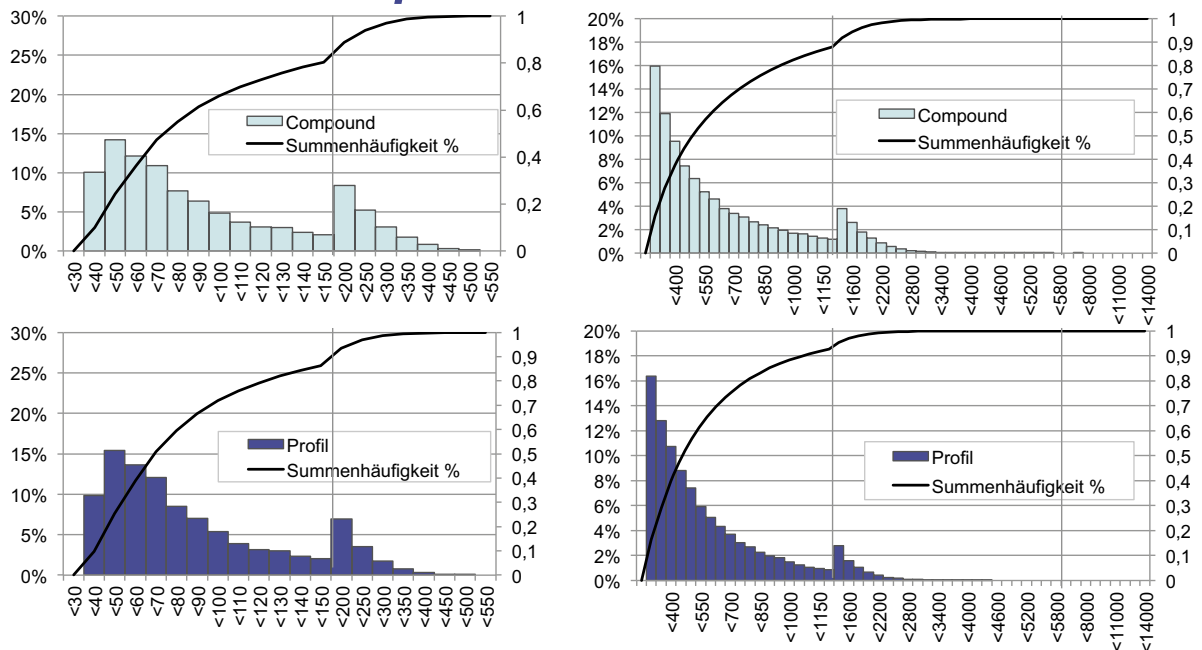
Homogenität & Reproduzierbarkeit

28

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Faserlängen / -breiten in Compound und Extrusionsprofil

Homogenität & Reproduzierbarkeit



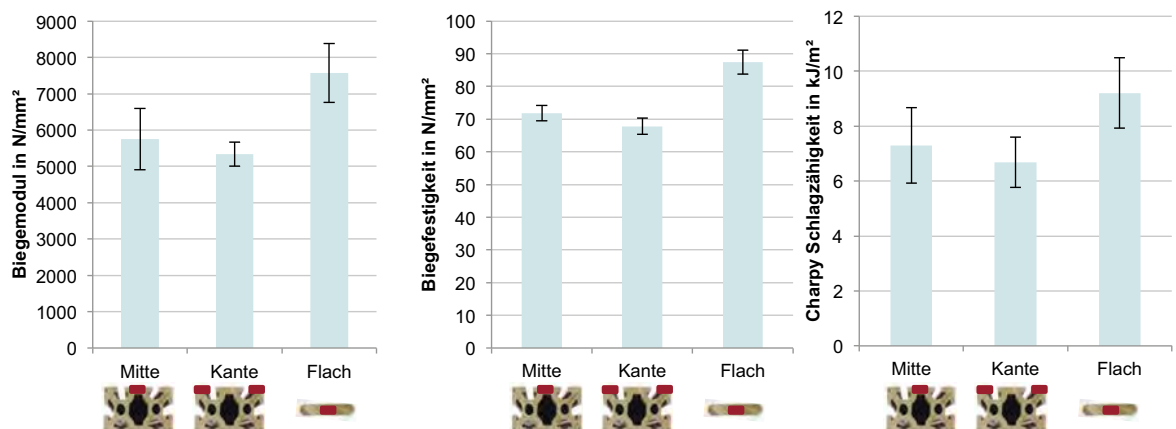
➔ Keine Veränderung der Faserlängen- & -breiten-Verteilung während Extrusion

29

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Einfluss der Profilform auf die Eigenschaften

Homogenität & Reproduzierbarkeit



➔ Faserlängen / -breiten sind durch Compound vorgegeben.

➔ **Mögliche Erklärung für die Variation:**

Eine unterschiedliche Orientierung der Fasern im Profil durch die andere Profilform führt vermutlich zu unterschiedlichen Verstärkungseffekten und den veränderten mechanischen Eigenschaften.

30

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Reproduzierbarkeit der Pelletproduktion



10% Hanf, Pellets 09/2011
mit 20% Homopolymer



10% Hanf, Pellets 02/2012
mit 20% Copolymer

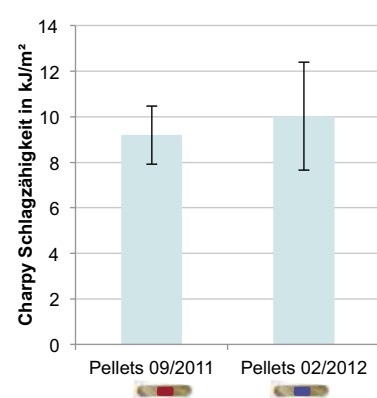
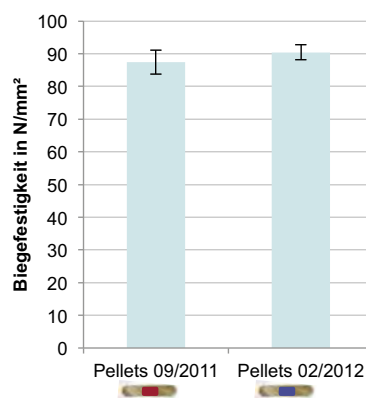
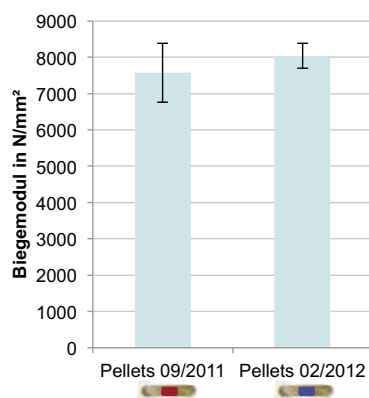
➡ Einfluss auf Verbundeigenschaften?

Homogenität & Reproduzierbarkeit

31

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Reproduzierbarkeit der Pelletproduktion



- ➡ Keine signifikanten Unterschiede zwischen unterschiedlichen Pelletpressungen bzw. unterschiedlicher Polymerart bei Verwendung des gleichen Profils.
- ➡ Reproduzierbare Homogenität der Verbundwerkstoffe
- ➡ Trotz unterschiedlicher Polymere sehr ähnliche Endeigenschaften im Bauteil. Geringer Einfluss des Polymers vermutlich wegen geringen Polymeranteils.

Homogenität & Reproduzierbarkeit

32

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Extrusion mit Holz- und Hanffasern: Homogenität und Reproduzierbarkeit am Beispiel der hiendl-Profile

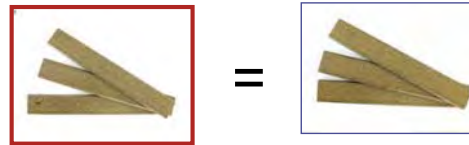
- Homogene Eigenschaften innerhalb eines Profils



- Einfluss der Profilgeometrie



- Reproduzierbare Homogenität der Pelleteigenschaften
- Einfluss des Copolymers wegen geringen Anteils nicht nachweisbar



33

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Unterschiedliche Faserpellets und Fasertypen mit PP im Spritzguss

Am Beispiel der bei der Firma Linotech compoundierten und spritzgegossenen Versuche wird in diesem Abschnitt der Einfluss unterschiedlicher Faseranteile, Faserpellets und Faserarten beleuchtet.

34

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Unterschiedliche Faserpellets und Fasertypen mit PP im Spritzguss (Linotech)

- Einfluss der Faserart auf die mechanischen Eigenschaften



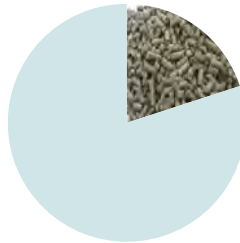
KF



SKF



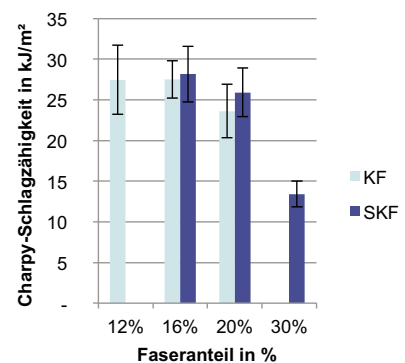
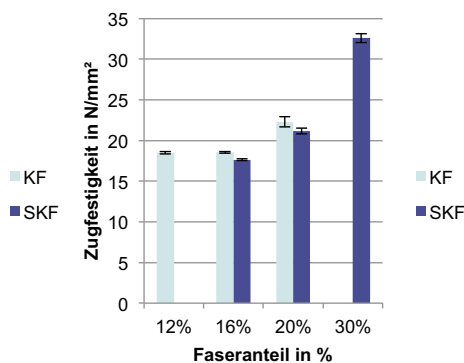
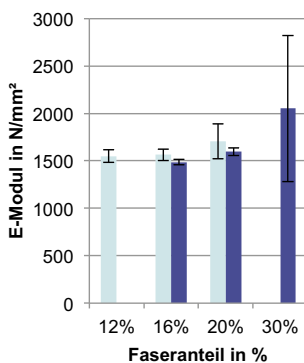
- Einfluss des Faseranteils auf die mechanischen Eigenschaften



35

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Einfluss von Faseranteil und Faserart



Tendenz:

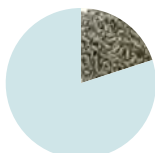
Faseranteil



E-Modul

Zugfestigkeit

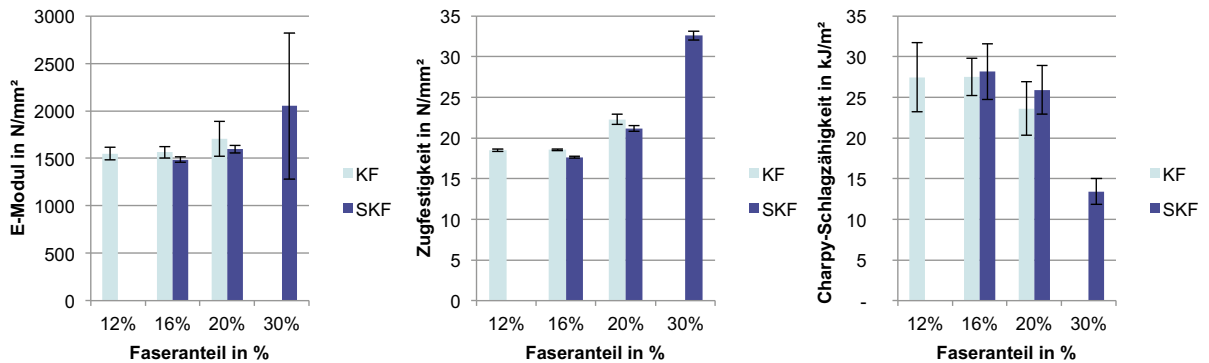
Schlagzähigkeit



36

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Einfluss von Faseranteil und Faserart



Tendenz für Festigkeit & E-Modul:



100% Biobasiert: Hanfpellets mit PLA im Spritzguss

Am Beispiel der bei FKUR durchgeführten Compoundier- und Spritzgussversuche mit Hanffaserpellets in PLA behandelt dieser Abschnitt die Verarbeitbarkeit der Faserpellets, die Einflüsse der unterschiedlichen Prozessschritte auf die Faserlängen- und –breitenverteilung und gibt einen Ausblick.

100% Biobasiert: Hanfpellets mit PLA im Spritzguss (FKUR)



Naturfaserpellets

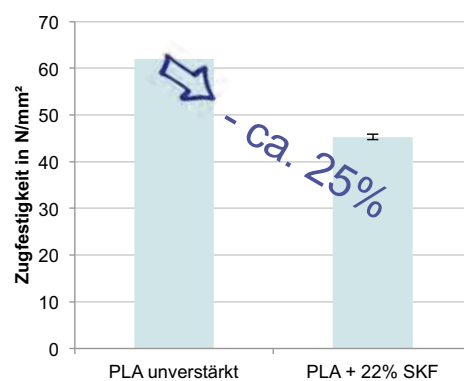


PLA

Biopolymer

Biobasierter
Verbundwerkstoff

Einfluss auf Zugfestigkeit



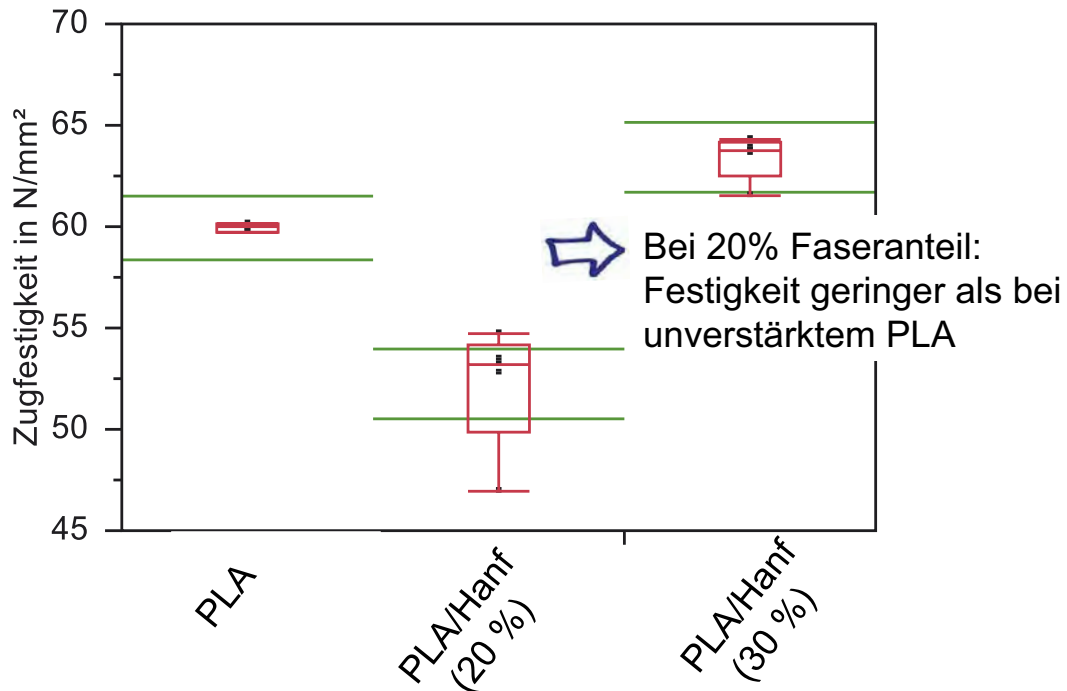
Abnahme der Zugfestigkeit durch Faserzudosierung um ca. 25%



Bekanntes Phänomen für PLA/ Hanf

Einfluss des Faseranteils auf Festigkeit bei PLA / Hanf

100% Biobasiert: Pellets mit PLA im Spritzguss



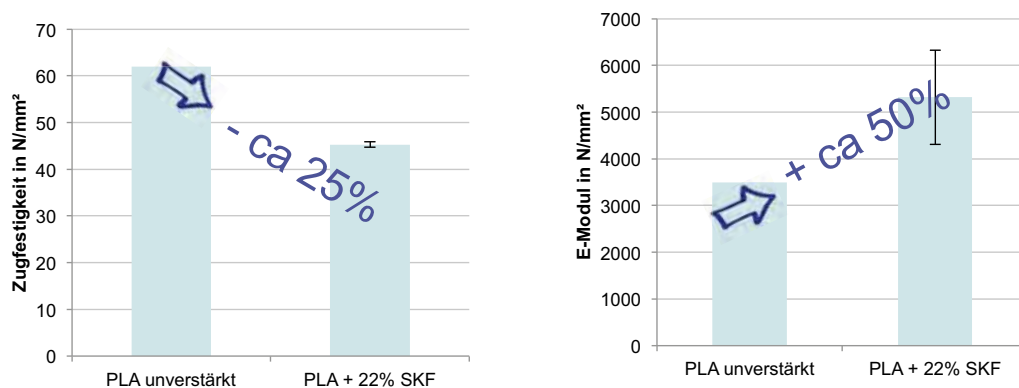
(Müssig et al., 2011)

41

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Einfluss auf Verbundsteifigkeit

100% Biobasiert: Pellets mit PLA im Spritzguss



Steigerung des E-Moduls um ca. 50% bei Zugabe von 22% SKF



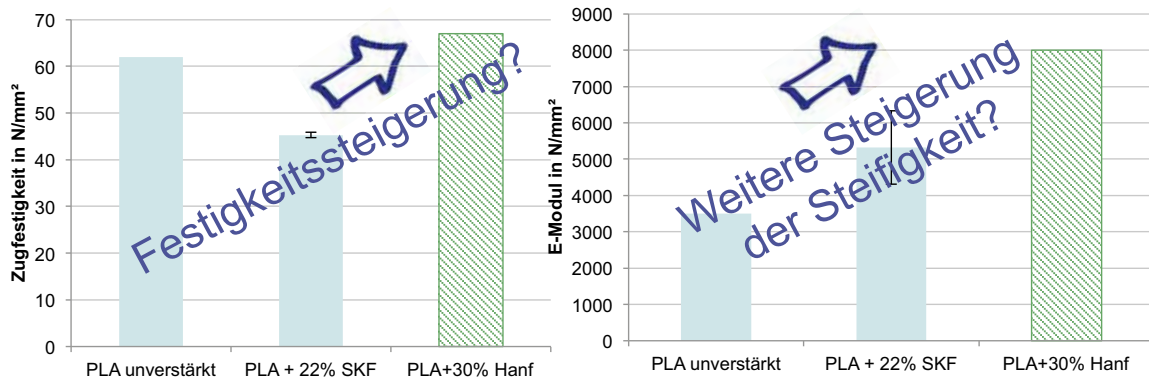
In Praxis meist Steifigkeitsauslegung von Bauteilen

PLA Referenzwerte: Technisches Datenblatt (NatureWorks, 2011)

42

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Ausblick



Erwartungen:

- Verbesserung der Festigkeitswerte durch höheren Faseranteil
- Verwendung längerer Fasern



Optimierte Bauteileigenschaften

PLA Referenzwerte: Technisches Datenblatt (NatureWorks, 2011)

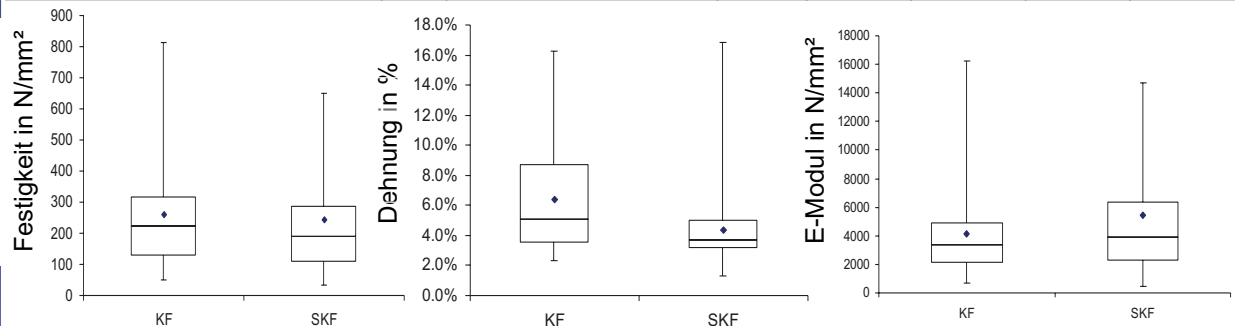
Ergänzende Messungen

Die hier beschriebenen Ergebnisse wurden im Rahmen des Projekts erarbeitet, allerdings nicht bei den Veranstaltungen am 16. April in Osnabrück und am 21. Mai in Köln vorgestellt.

Faserzugversuche

Charge	Kenngroße	n	Mittelwert ± Standardabweichung		Minimum	25%-Quartil	Median	75%-Quartil	Maximum
KF	Festigkeit in N/mm ²	50	260.5	± 187.0	30.0	129.7	223.1	317.5	965.7
	Dehnung in %	50	6.4%	± 3.9%	1.5%	3.5%	5.1%	8.7%	17.9%
	E-Modul in N/mm ²	50	4139	± 2795	1056	2112	3405	4940	14856
SKF	Festigkeit in N/mm ²	48	244.4	± 195.3	48.4	109.1	190.5	288.0	962.3
	Dehnung in %	48	4.4%	± 1.8%	1.7%	3.2%	3.7%	5.0%	8.7%
	E-Modul in N/mm ²	48	5466	± 4659	245	2281	3899	6373	23809

Ergänzende Ergebnisse



Keine signifikanten Unterschiede zwischen KF und SKF!

45

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Fasereigenschaften → Verbundeigenschaften

- Allgemein gilt: je höher die Faserfestigkeit und -steifigkeit, desto höher die Verbundfestigkeit und -steifigkeit.



- Ähnliche mechanische Eigenschaften bei Kurzfasern und Superkurzfasern



Erwartung: ähnliche Verbundeigenschaften bei KF und SKF?

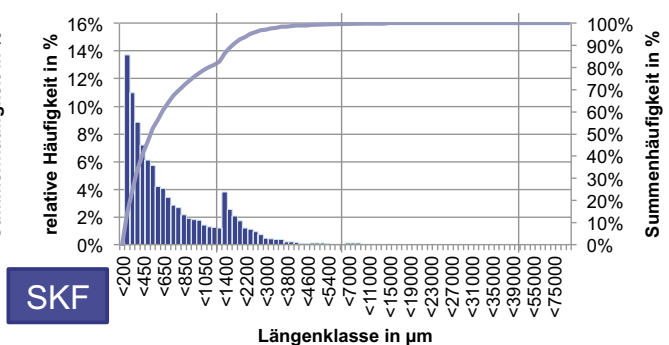
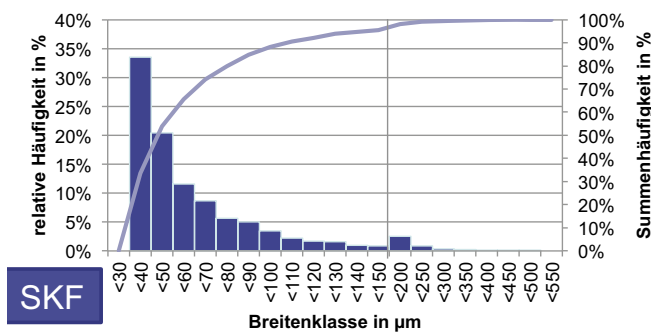
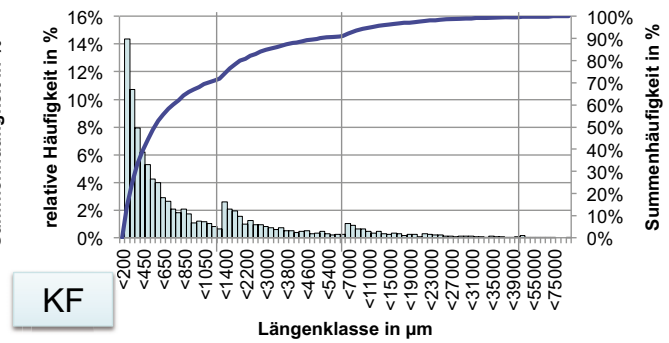
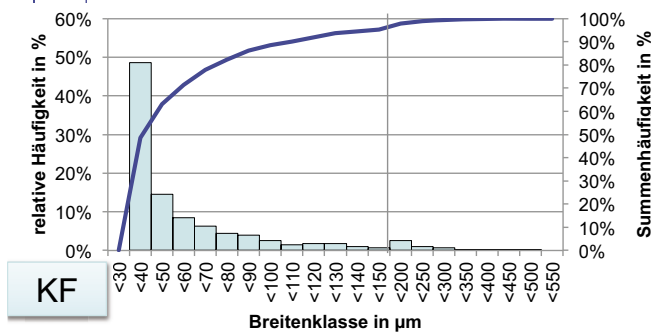
Aber: bei Kurzfaserverstärkung in Verbundwerkstoffen Einfluss der Faserform!

Ergänzende Ergebnisse

46

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

FibreShape Fasern



Sehr feine und lange Anteile bei KF größer als bei SKF!

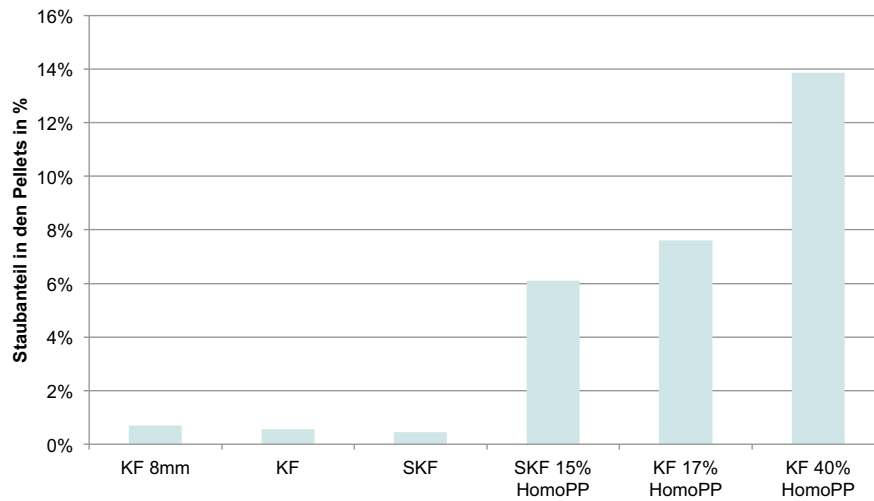
Fasereigenschaften -> Verbundeigenschaften

- Allgemein gilt: je höher die Faserfestigkeit und –steifigkeit, desto höher die Verbundfestigkeit und Steifigkeit.
- Einfluss von Faserbreite und –länge: damit Kraft von der Matrix auf die Faser übertragen werden kann, muss die Faser eine Mindestlänge aufweisen, die von der Grenzflächenscherfestigkeit zwischen Faser und Matrix und dem Faserdurchmesser abhängt.
- Ähnliche mechanische Eigenschaften bei Kurzfasern und Superkurzfasern (Ergebnis der Faserzugversuche)
- Unterschiedliche Größenverteilungen (FibreShape-Messungen): in SKF deutlich weniger lange Fasern enthalten als in KF



Erklärung für geringere Verstärkungswirkung durch SKF im Verbundwerkstoff

Staubanteil in Pellets



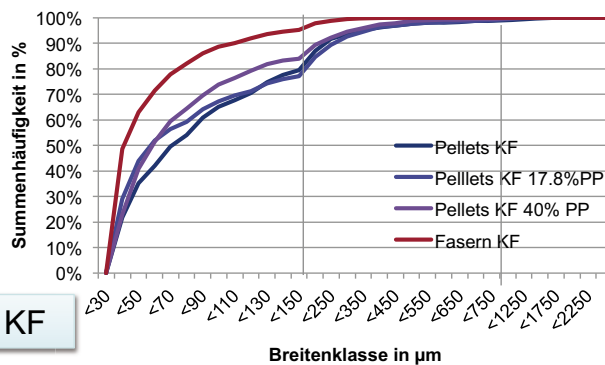
- ➔ Staubanteil in reinen Faserpellets ohne zudosierten Polymergries geringer
- ➔ Exaktere Einstellung des Faseranteils im Verbundwerkstoff möglich

Ergänzende Ergebnisse

49

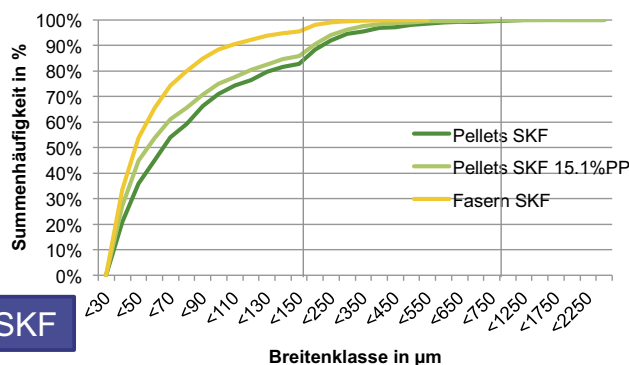
Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Fasern in Pellets - Breitenverteilung



- In der Pelletieranlage werden feine, staubartige Anteile abgesaugt oder bleiben durch elektrostatische Effekte an Anlageteilen zurück

➔ Feinst-Anteile in den Pellets geringer als in den Fasern.*



- Gleiche Trends für KF und SKF:
- Je höher der Polymeranteil, desto feiner die Fasern (mehr größere Anteile in reinen Faserpellets)

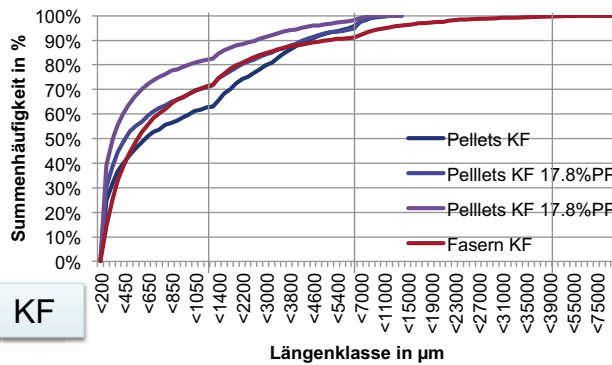
* Einfluss durch die unterschiedliche Präparation unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließen.

Ergänzende Ergebnisse

50

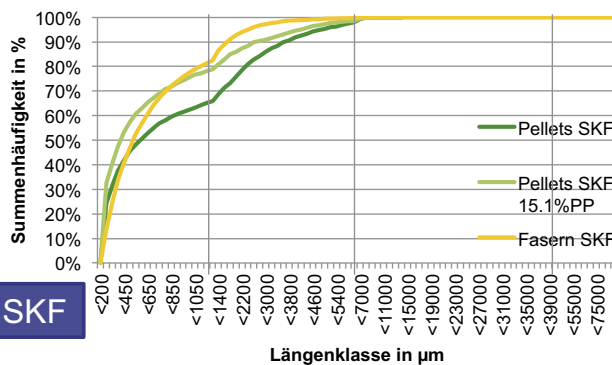
Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Fasern in Pellets - Längenverteilung



- Bei KF: deutliche Einkürzung der langen Fasern ($L > 10 \text{ mm}$) bei der Pelletierung

➔ maximale Faserlänge in den Pellets etwa 10 mm.*



- Gleiche Trends für KF und SKF:*
- Je höher der Polymeranteil, desto kürzer die Fasern (mehr längere Anteile in den reinen Faserpellets)

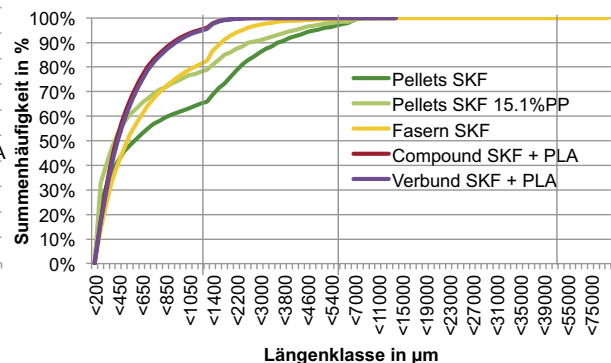
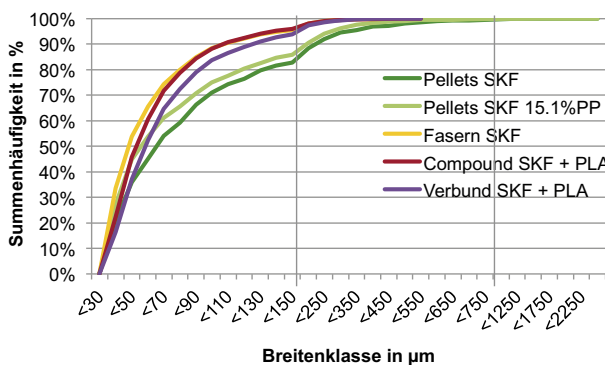
* Einfluss durch die unterschiedliche Präparation unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließen.

Ergänzende Ergebnisse

51

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Faserlängen und -breiten während kompletter Prozesskette am Beispiel SKF-PLA



Feine Anteile werden abgesaugt
 $B_{\text{Faser}} < B_{\text{Pellet}}$

Aufspaltung der Fasern
 $B_{\text{Pellet}} > B_{\text{Compound}}$

Keine weitere Faserschädigung
 $B_{\text{Compound}} = B_{\text{Verbund}}$

Fasern

Pellets

Compound

Verbund

kürzere Anteile werden abgesaugt
 $L_{\text{Faser}} < L_{\text{Pellet}}$

Einkürzung der Fasern
 $L_{\text{Pellet}} > L_{\text{Compound}}$

Keine weitere Faserschädigung
 $L_{\text{Compound}} = L_{\text{Verbund}}$

Einflüsse durch die unterschiedliche Präparation sind unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließen.

52

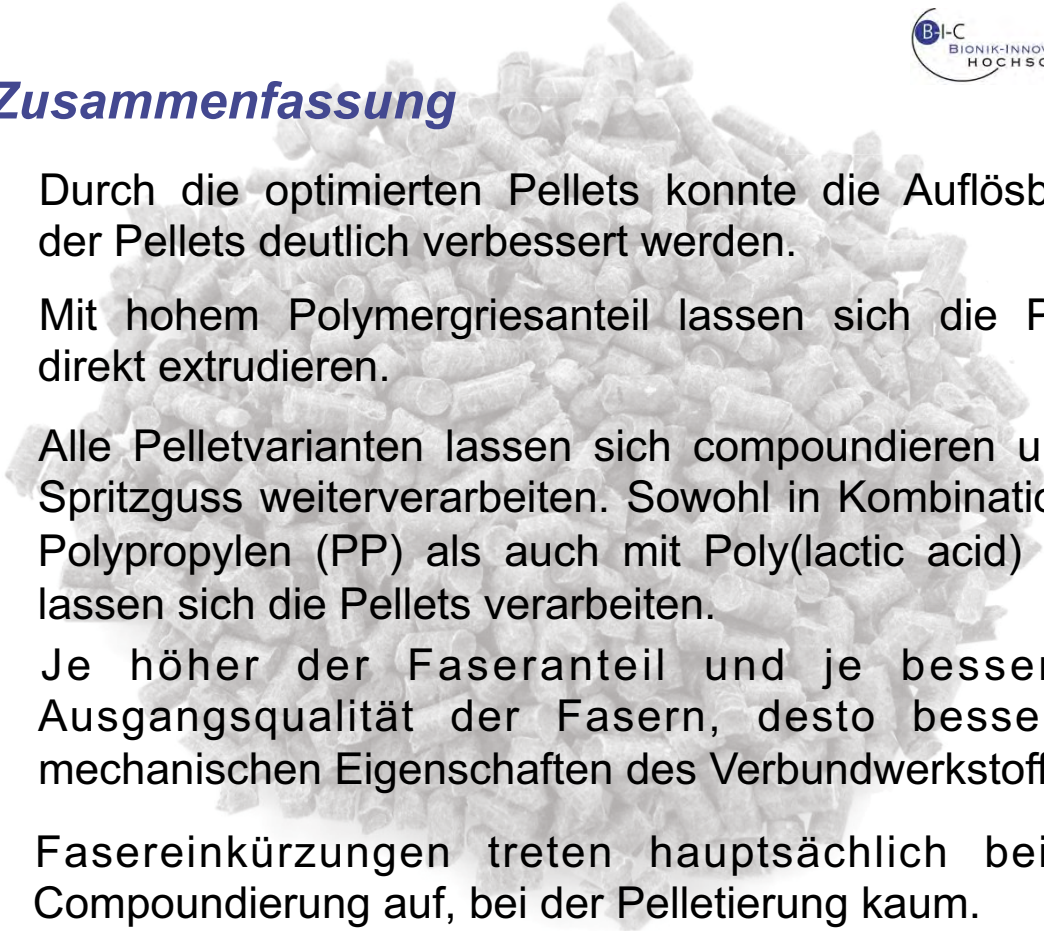
Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012



Zusammenfassung & Quellen

53

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012



Zusammenfassung

- Durch die optimierten Pellets konnte die Auflösbarkeit der Pellets deutlich verbessert werden.
- Mit hohem Polymergriesanteil lassen sich die Pellets direkt extrudieren.
- Alle Pelletvarianten lassen sich compoundieren und im Spritzguss weiterverarbeiten. Sowohl in Kombination mit Polypropylen (PP) als auch mit Poly(lactic acid) (PLA) lassen sich die Pellets verarbeiten.
- Je höher der Faseranteil und je besser die Ausgangsqualität der Fasern, desto besser die mechanischen Eigenschaften des Verbundwerkstoffs.
- Fasereinkürzungen treten hauptsächlich bei der Compoundierung auf, bei der Pelletierung kaum.

54

Haag & Müssig / Abschlussbericht - Vorstellung der Ergebnisse, Juni 2012

Quellen

Müssig, J., Graupner, N., Oldemeyer, K.-E., Mölleken, H. 2011: *Hemp fibre reinforced PLA from cultivation to the final* – EIHA (Hrsg. und Verant.): 8th International Conference of the European Industrial Hemp Association (Wesseling, Deutschland, 2011-05-18 bis 2011-05-19) Folien zum Vortrag

NatureWorks LLC, 2011: *Ingeo TM Biopolymer 3251D*. Injection Molding Process Guide. NatureWorks LLC, Minnetonka, USA. Stand 31-03-2011

Danksagung

Das Projekt „Entwicklung einer industriellen Naturfaser-Pellet-Produktion zur Nutzung von Naturfasern als Verstärkung von (Bio-) Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion“ – AZ 27717-34 wurde mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördert.



