

**Voigt Systemtechnik GmbH,
98701 Großbreitenbach**

**Technische Konzipierung eines neuen umweltfreundlichen Verfahrens
und Produktes für die Anwendung in verschleißfesten
spritzgegossenen Bauteilen im Leichtbau**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 22988/02 von der
Deutschen Bundestiftung Umwelt

von

Eckehard Voigt

Großbreitenbach, Juni 2011

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	22988/02	Referat	Fördersumme	256.305
Antragstitel	Technische Konzipierung eines neuen umweltfreundlichen Verfahrens und Produktes für die Anwendung in verschleißfesten spritzgegossenen Bauteilen im Leichtbau			
Stichworte	Fasergranulatanlage, Pull-Drill-Verfahren, Aramidfasergranulat, Spritzguss, Compoundierung, aramidfaserverstärktes Polyamid, Kunststoffzahnrad			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
25.09.2008 – 4.03.2011	25.09.2008	04.03.2011		
Zwischenberichte	3			
Bewilligungsempfänger	Voigt Systemtechnik GmbH	Tel	036781 / 447 – 0	
		Fax	036781 / 447 – 20	
	Ilmenauer Str. 4	Projektleitung	Eckehard Voigt	
	98701 Großbreitenbach	Bearbeiter	Eckehard Voigt	
Kooperationspartner	OMPG mbH, Breitscheidstraße 97, 07407 Rudolstadt Opti-Polymers GmbH, Oststraße 50, 07407 Rudolstadt Krischke Kunststofftechnik GmbH, Eisenacher Straße 42, 99848 Wutha-Farnroda			

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Die von der OMPG unter Mitwirkung des Antragstellers bearbeitete Machbarkeitsstudie (Reg.-Nr.: DBU 22988-22/2) zeigte, dass para-Aramidfasern, die über Pull-Drill-Granulate in spritzgegossene Faserverbundwerkstoffe eingebracht wurden, zu umweltrelevanten Eigenschaften wie Leichtbau, Langlebigkeit und Verschleißfestigkeit im Endprodukt führten. Zielsetzung des Antrages war deshalb, die Anlagentechnik der Pull-Drill-Granulatherstellung so weiter zu entwickeln, dass neben den bisher als Matrixmaterialien eingesetzten Polyethylen und Polypropylen auch bei höheren Temperaturen schmelzbare Matrixmaterialien wie beispielsweise Polyamide, wie sie zunehmend für hochbeanspruchte, innovative Hochleistungskunststoffe verwendet werden, verarbeitbar sind. Dazu sollten

- a) die anlagentechnischen Voraussetzungen geschaffen und optimiert,
- b) die technologischen Verfahrensparameter ausgelotet und
- c) die Serienproduktion für eine technisch hochwertige Anwendung angeschoben werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte in folgenden Arbeitsschritten:

1. Schaffung der anlagentechnischen Voraussetzungen durch den Antragsteller
2. Durchführung von Betriebstests der neuen Anlage durch Antragsteller und OMPG
3. Erarbeitung der technologischen Parameter für die Produktionsanlage durch Antragsteller und OMPG
4. Verarbeitung von kleintechnischen Aramidfasermengen zu Mustergranulaten mit unterschiedlich hoch schmelzenden Binfasermatrizes durch die OMPG unter Nutzung industriell gefertigter Faserbänder und Lieferung von Mustermengen an den Compounder
5. Verarbeitungsversuche der Mustergranulate und Optimierung der Compoundierbedingungen durch den Compounder Opti-Polymers GmbH
6. Fertigung von spritzgießfähigen Mustergranulaten und Lieferung an den Spritzgießer
7. Verspritzen der Granulate zu einem Antriebsritzel aus aramidverstärktem Poyamid6 für den Ersatz ursprünglich eingesetzter Ritzel aus Grauguss durch die Krischke Kunststofftechnik GmbH
8. Darstellung und Test der gesamten Produktionskette von den Faserstofflieferanten bis zum Endanwender durch die OMPG als Grundlage für einen Produktionsstart mit der modifizierten, für den Antragsteller als vermarktbar Referenzanlage nutzbaren Pull-Drill-Prototypproduktionsanlage.

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Az. 22988/02 geförderten Forschungsprojektes wurde eine Pull-Drill-Granulatanlage technisch so weiterentwickelt, dass damit auch mit einem höheren Schmelzpunkt bindende Matrixfaserstoffe para-Aramidverstärkungsfasern zu einem Fasergranulatkonzentrat konsolidieren können. Die resultierende Prototypanlage wird nach dem Projektabschluss von der OMPG mbH zur Produktion von Pull-Drill-Granulaten eingesetzt und dient dem Antragsteller als Referenzanlage für eine internationale Anlagenvermarktung. Die Anlage wurde ausführlichen Funktionstests unterzogen und im Rahmen des Projektes unterschiedliche vermarktbar Granulatsortimente entwickelt. Für die versuchsweise hergestellten Aramidfasergranulate wurden die Compoundiebedingungen von der Fa. Opti-Polymers GmbH optimiert und das resultierende verspritzbare Granulat von der Fa. Kriscke Kunststofftechnik zu einem Antriebsritzel verarbeitet. Das Gesamtverfahren konnte im Rahmen des Projektes mit den Projektpartnern und dem Aramidfaserhersteller Teijin Aramid B.V. und textilen Bandlieferanten von der Faserbereitstellung bis zur Endanwendung getestet, optimiert und bis zur Fertigungsreife gebracht werden.

Mit dieser technischen Modifikation des Pull-Drill-Verfahrens ist es möglich geworden, die in Faserverbundwerkstoffen mechanisch verstärkend wirkenden Hochleistungsfasern auf Basis von para-Aramid sowohl als Primärfasern als auch als Recyclingfasern auch mit höher schmelzenden Bindefasern auf Polyamidbasis zu Fasergranulatkonzentraten mit 80 % Aramidfaseranteil für die Compoundierung/Spritzguss zu verarbeiten.

Damit gelang es, die grundlegenden Voraussetzungen zu schaffen, um die in diesem neuartigen Verfahren steckenden und aus Poduktanwendungen resultierenden Umweltpotenziale praxiswirksam zu machen.

Vom Herstellungsverfahren und von den letztendlich daraus hervorgehenden Endprodukten gehen folgende umweltentlastende Haupteffekte aus:

- Aus dem Pull-Drill-Granulat-Fertigungsprozess resultieren Fasergranulatkonzentrate mit einem maximalen Verstärkungsfaseranteil von 80 %. Im Vergleich hierzu sind konventionelle Stäbchengranulate nur mit einem Verstärkungsfaseranteil von 60 % fertigbar. Die Pull-Drill-Granulatifertigung erfolgt mit einem wesentlich geringeren Energieverbrauch, da einerseits weniger thermoplastische Bindematrix eingesetzt, andererseits diese nur im Mantelbereich des Granulatkorns aufgeschmolzen wird.
- Mit diesem Verfahren ist es erstmals möglich, auch Recyclingaramidfasern als Voraussetzung eines 1:1 Ersatzes von Primäraramidfasern für den Spritzgusssektor wiederverwertbar zu machen.
- aramidfaserverstärkte Kunststoffe, insbesondere die höher schmelzenden Polyamide sind sehr gut geeignet, um kostengünstig und hochproduktiv im Sinne des Leichtbaus Metallbauteile zu ersetzen.
- Im konkreten Anwendungsbeispiel des Ersatzes eines Graugussantriebsritzels durch ein aramidfaserverstärktes, spritzgegossenes Polyamidritzel ergibt sich eine energetisch günstigere, abfallärmere, technologisch einfachere und schnellere Herstellung, erreicht man eine wesentliche Massereduktion und eine längere Lebensdauer aufgrund einer geringeren Zahnausbruchneigung, bessere Notlaufeigenschaften bei fehlenden Schmierstoffen und eine höhere Reibverschleißfestigkeit durch den Aramidfaserzusatz. Gleichzeitig erhöht sich die Laufruhe im Eingriff des Kunststoffritzels gegen ein Metallzahnrad und bewirkt damit eine geringere Schallemission.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die modifizierte Prototypanlage einer vermarktbareren Produktionsmaschine wird nach Projektabschluss einerseits als Referenzanlage für interessierte Kunden des Anlagenbauers, Fa. Voigt Systemtechnik genutzt, andererseits dient sie in der OMPG zur Fertigung und Entwicklung kundenspezifischer Granulatprodukte auf Basis aramidfaserhaltiger Pull-Drill-Granulate.

Die Anlage verfügt über eine Produktionskapazität von 50 t/a. Damit ist es möglich, sowohl Mustermengen für Produktentwicklungen als auch Produktionsmengen als Überbrückung bis zur Inbetriebnahme kundeneigener Pull-Drill-Granulatanlagen zu fertigen.

Zur Gewinnung von Kunden für einen Anlagenkauf und zum Ausbau der vermarktbareren Mengen werden die Ergebnisse auf breiter Schiene durch die in das Projekt involvierten Partner veröffentlicht. Hierzu werden die Hompages der Unternehmen genutzt und Fachartikel in Fachzeitschriften platziert.

Die Granulate werden auf verschiedenen Messen sowohl durch die Teijin Aramid B.V. als auch durch OMPG ausgestellt. Schwerpunkte sind hier Kunststoffmessen und Messen für technische Textilien.

Bei Kundenbesuchen in der OMPG wird die Anlage in den anlageninformativen Technikumsrundgang mit eingebunden und so auf das Verfahren und die Produkte aufmerksam gemacht.

Fazit

Die Zielstellung des Projektes konnte erreicht werden. Mit der modifizierten Anlagentechnik und dem Aufbau einer ersten Vermarktungsschiene wurde begonnen, die verfahrensbedingten und aus den Produktanwendungen resultierenden umfangreichen Umwelteffekte freizusetzen. Für die Zukunft gilt es, die Anlagentechnik des Verfahrens weiter zu vermarkten und die Produktionsmengen an Aramidfasergranulaten für spritzgegossene Faserverbundwerkstoffe bei gleichzeitigem Erschließen weiterer Anwendungen zu erhöhen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Projektkennblatt	2
Inhaltsverzeichnis	5
Verzeichnis von Bildern	6
Verzeichnis von Tabellen	7
Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen	8
Zusammenfassung	11
1 Einleitung	12
2 Projektergebnisse	15
2.1 Schaffung der anlagentechnischen Voraussetzungen	15
2.2 Technologische Tests und technische Optimierungen	18
2.3 Verarbeitungstest mit unterschiedlichen Materialmischungen	21
2.3.1 Aramidverstärkungsfasern	21
2.3.2 Thermoplastische Bindefasern	21
2.4 Kleintechnische Versuchsmengen für die Compoundierung	22
2.5 Compoundierung	23
2.6 Verspritzen – Prüfkörperherstellung – mechanische Eigenschaften	24
2.7 Industrielle Verarbeitung von Spritzgussgranulaten aus Pull-Drill-Granulatkonzentraten – Endprodukt – Gebrauchswert	29
3 Bewertung der Vorhabensergebnisse	32
3.1 Vergleich der Projektergebnisse mit der Zielstellung	32
3.2 Umweltrelevante Nutzeffekte durch aramidfaserverstärkte Kunststoffe im Spritzguss durch Pull-Drill-Granulate	34
3.3 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse	35
Literaturverzeichnis	36

Verzeichnis von Bildern

- Bild 1: Bisherige Anlagentechnik
- Bild 2: Neue modifizierte Anlagentechnik
- Bild 3: Prinzip der Herstellung von Mischfaserbändern als Ausgangsmaterial für Pull-Drill-Granulate = Stand textiler Faserverarbeitungstechnik
- Bild 4: Prinzip der Pull-Drill-Granulatherstellung
- Bild 5: Ein-Band-Fahrweise
- Bild 6: Zwei-Band-Fahrweise
- Bild 7: Pull-Drill-Granulat mit einem Aramidfaseranteil von 80%
- Bild 8: Eingesetzte Spritzgießmaschine ARBURG 520 C 2000-675
- Bild 9: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Zugfestigkeit eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat
- Bild 10: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Zug-E-Modul eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat
- Bild 11: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Schlagzähigkeit eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat
- Bild 12: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Kerbschlagzähigkeit eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat
- Bild 13: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Biegespannung bei 3,5 % Durchbiegung eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat
- Bild 14: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Biegesteifigkeit eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat
- Bild 15: Endprodukt Antriebsritzeln - Vorderansicht und Kenndaten
- Bild 16: Endprodukt Antriebsritzeln - Rückansicht
- Bild 17: Produktionskette zur Nutzung von Aramidfasern in faserverstärkten, spritzgegossenen Leichtbaustrukturen

Verzeichnis von Tabellen

Tabelle 1: Umweltrelevante Merkmale des Pull-Drill-Verfahrens mit dem Verfahren zur Herstellung pultrudierter Stäbchengranulate als Stand der Technik

Tabelle 2: Ergebnisse der Testung verschiedener potenzieller Bandlieferanten aus der Industrie

Tabelle 3: Übersicht zu den compoundierten Granulatsortimenten für die Spritzversuche und Prüfungen

Tabelle 4: Übersicht zu den compoundierten Granulatsortimenten für die Bauteilherstellung bei der Fa. Kirschke Kunststofftechnik

Tabelle 5: Abgeleitete Empfehlungen für verschiedene Pull-Drill-Granulatsortimente

Tabelle 6: Vereinfachter Vergleich von Spritzguss mit Grauguss

Tabelle 7: Umweltpotenzial von Pull-Drill-Granulaten und die Umsetzung als Projektergebnis

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

- a ... das Sonnenjahr als eine Einheit der Zeit
- ARrec. ... Aramidrecyclingfasern, aus Abfällen durch mechanische Aufbereitung wiedergewonnene Aramidfasern
- Az ... Aktenzeichen
- BV ... besloten vennootschap, eine der deutschen GmbH ähnliche Gesellschaftsform nach niederländischem Recht (auch B.V.)
- CE ... Die CE-Kennzeichnung, ist eine Kennzeichnung nach EU-Recht für bestimmte im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) frei verkehrsfähige Industrieerzeugnisse.
- DBU ... Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- dtex ... Maßeinheit in der Textilbranche zur Bezeichnung der Feinheit von Fasern und Fäden, entspricht einem Tausendstel Gramm je 10 Meter
- DIN EN ISO
... spiegelt alle drei Wirkungsebenen wider, die eine Norm haben können: national, europäisch und weltweit. Auf der Grundlage einer Norm der internationalen Normungsorganisation ISO wurde eine Europäische Norm EN erarbeitet, die als Deutsche Industrienorm DIN übernommen wurde.
- eA in DIN EN ISO 179/1eA
... e steht für die schmalseitige (edgewise) Schlagausführung, wobei A für die Kerbform steht
- E-Modul
... Elastizitätsmodul, auch: Zugmodul, Elastizitätskoeffizient oder Youngscher Modul genannt
- eU in DIN EN ISO 179/1eU
... e steht für die schmalseitige (edgewise) Schlagausführung, wobei U für ungekerbt steht
- EU ... Europäische Union
- e.V. ... Eingetragener Verein
- Fa. ... Firma
- GmbH ... Gesellschaft mit beschränkter Haftung
- GPa ... Gigapascal = 1 Milliarde Pascal, 1 Pascal ist der Druck, den eine Kraft von einem Newton auf eine Fläche von einem Quadratmeter ausübt.
- g ... Gramm; ein Gramm ist eine physikalische Maßeinheit für die Masse. Ein Gramm (g) beträgt ein Tausendstel eines Kilogramms (kg), der offiziellen SI-Basiseinheit für die Masse.
- g/cm³ ... Gramm je Kubikzentimeter ist ein Maß die Dichte (genauer: Massendichte). Es ist das Verhältnis der Masse eines Körpers zu seinem Volumen

- g/m ... Gramm je Meter ist die Maßeinheit für die Feinheit zum Beispiel eines Faserstranges, in der Textilindustrie als Kilotex definiert und bezeichnet.
- h ... steht für die Maßeinheit Stunde und ist eine Einheit der Zeit
- HSS ... Schnellarbeitsstahl, aus dem englischen abgeleitet von High Speed Steel
- kg ... Das Kilogramm ist die Basiseinheit der Masse im Internationalen Einheitensystem (SI)
- kJ ... Kilojoule = 1000 Joule; Das Joule ist die abgeleitete SI-Einheit der Größen Energie, Arbeit und Wärmemenge
- kW ... Kilowatt = 1000 Watt; wobei das Watt die SI-Einheit der Leistung ist.
- m ... Meter ist die Längenmaßeinheit im Internationalen Einheitensystem und die SI-Basiseinheit der Länge
- m² ... Quadratmeter, Flächenmaß, Ein Quadratmeter ist die Fläche eines Quadrats der Seitenlänge 1 Meter.
- max. ... maximal
- min ... Die Minute ist eine nicht zum Internationalen Einheitensystem (SI) gehörende Zeiteinheit. Eine Minute entspricht 60 Sekunden.
- mm ... Millimeter, Längenmaß, ein Tausendstel eines Meters
- MPa ... Megapascal = 1 Million Pascal. Das Pascal ist eine abgeleitete SI-Einheit des Drucks sowie der mechanischen Spannung. Ein Pascal ist der Druck, den eine Kraft von einem Newton auf eine Fläche von einem Quadratmeter ausübt.
- NL ... Niederlande
- OMPG ... Ostthüringische Materialgesellschaft mit beschränkter Haftung, ein 100%iges Tochterunternehmen des TITK
- PA6 ... Polyamid6 oder Polycaprolactam, hergestellt aus dem Rohstoff ϵ -Caprolactam
- PA6.6 ... Polyamid6.6, hergestellt aus den beiden Rohstoffen Hexamethyldiamin und Adipinsäure
- PE-LD ... Polyethylen low density, Polyethylen niedriger Dichte
- PE-HD ... Polyethylen high density, Polyethylen hoher Dichte
- PP ... Polypropylen
- Pull-Drill-Granulat
... Fasergranulate, die mit dem Pull-Drill-Verfahren hergestellt wurden [Reu05]
- SI ... Internationales Einheitensystem, abgekürzt SI vom französischen Système international d'unités
- t ... metrische Tonne als eine Maßeinheit der Masse

- TITK ... Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V.
- UV ... Ultraviolettstrahlung, kurz Ultraviolett
- ZSK ... zweiwelliger Schneckenknetter
- °C ... Grad Celsius, Maßeinheit für die Temperatur
- % ... Ein Hundertstel, vergleichbar mit dem Ausdruck „vom Hundert“
- ≥ ... größer-gleich

Zusammenfassung

Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Az. 22988/02 geförderten Forschungsprojektes wurde eine Pull-Drill-Granulatanlage technisch so weiterentwickelt, dass damit auch mit einem höheren Schmelzpunkt bindende Matrixfaserstoffe para-Aramidverstärkungsfasern zu einem Fasergranulatkonzentrat konsolidieren können. Die resultierende Prototypanlage wird nach dem Projektabschluss von der OMPG mbH zur Produktion von Pull-Drill-Granulaten eingesetzt und dient dem Antragsteller als Referenzanlage für eine internationale Anlagenvermarktung. Die Anlage wurde ausführlichen Funktionstests unterzogen und im Rahmen des Projektes unterschiedliche vermarktbare Granulatsortimente entwickelt. Für die versuchsweise hergestellten Aramidfasergranulate wurden die Compoundierbedingungen von der Fa. Opti-Polymers GmbH optimiert und das resultierende verspritzbare Granulat von der Fa. Krischke Kunststofftechnik zu einem Antriebsritzeln verarbeitet. Das Gesamtverfahren konnte im Rahmen des Projektes mit den Projektpartnern und dem Aramidfaserhersteller Teijin Aramid B.V. von der Faserbereitstellung bis zur Endanwendung getestet, optimiert und bis zur Fertigungsreife gebracht werden.

Mit dieser technischen Modifikation des Pull-Drill-Verfahrens ist es möglich geworden, die in Faserverbundwerkstoffen mechanisch verstärkend wirkenden Hochleistungsfasern auf Basis von para-Aramid sowohl als Primärfasern als auch als Recyclingfasern auch mit höher schmelzenden Binfedfasern auf Polyamidbasis zu Fasergranulatkonzentraten mit 80 % Aramidfaseranteil für die Compoundierung/Spritzguss zu verarbeiten.

Damit gelang es, die grundlegenden Voraussetzungen zu schaffen, um die in diesem neuartigen Verfahren steckenden und aus Poduktanwendungen resultierenden Umweltpotenziale praxiswirksam zu machen.

Vom Herstellungsverfahren und von den letztendlich daraus hervorgehenden Endprodukten gehen folgende umweltentlastende Haupteffekte aus:

- Aus dem Pull-Drill-Granulat-Fertigungsprozess resultieren Fasergranulatkonzentrate mit einem maximalen Verstärkungsfasernanteil von 80 %. Im Vergleich hierzu sind konventionelle Stäbchengranulate nur mit einem Verstärkungsfasernanteil von 60 % fertigbar. Die Pull-Drill-Granulaterzeugung erfolgt mit einem wesentlich geringeren Energieverbrauch, da einerseits weniger thermoplastische Bindematrix eingesetzt, andererseits diese nur im Mantelbereich des Granulatkorns aufgeschmolzen wird.
- Mit diesem Verfahren ist es erstmals möglich, auch Recyclingaramidfasern als Voraussetzung eines 1:1 Ersatzes von Primäraramidfasern für den Spritzgusssektor wiederverwertbar zu machen.
- aramidfaserverstärkte Kunststoffe, insbesondere die höher schmelzenden Polyamide sind sehr gut geeignet, um kostengünstig und hochproduktiv im Sinne des Leichtbaus Metallbauteile zu ersetzen.
- Im konkreten Anwendungsbeispiel des Ersatzes eines Graugussantriebsritzels durch ein aramidfaserverstärktes, spritzgegossenes Polyamidritzel ergibt sich eine energetisch günstigere, abfallärmere, technologisch einfachere und schnellere Herstellung, erreicht man eine wesentliche Massereduktion und eine längere Lebensdauer aufgrund einer geringeren Zahnausbruchneigung, bessere Notlaufeigenschaften bei fehlenden Schmierstoffen und eine höhere Reibverschleißfestigkeit durch den Aramidfaserzusatz. Gleichzeitig erhöht sich die Laufruhe im Eingriff des Kunststoffritzels gegen ein Metallzahnrad und bewirkt damit eine geringere Schallemission .

1 Einleitung

In der OMPG wurde in den letzten Jahren ein neuartiges Verfahren entwickelt, um mit endlichen Textilfasern verstärkungsfaserhaltige Granulate für den Spritzgusssektor zu fertigen. [RM99], [RM00], [OM01] Dieses neuartige Verfahren verfügt gegenüber dem Stand der Technik über eine Reihe umweltschonender Effekte.

Gegenstand des Forschungsvorhabens war es, dieses Verfahren technisch/technologisch auf so einen Stand zu bringen, dass:

Aramidfaserstoffe sowohl als Primärfasern als auch als Recyclingfasern in solch eine Granulatform gebracht werden können, dass sie als Halbzeug zur Verstärkung höher schmelzender Kunststoffmatrixen ($>200\text{ °C}$) im Spritzguss verwendet werden können.

In Verbindung mit den Möglichkeiten der deutlichen Verbesserung der Bauteillebensdauer (reduzierter Bauteilverschleiß) insbesondere in der Fahrzeug-, Maschinenbau- und Gummiindustrie und dem hohen Leichtbaupotenzial der Verbundbauteile sieht der Antragsteller in den als Halbzeug zu produzierenden Aramidgranulaten ein hohes wirtschaftliches Potenzial. [BF06], [Do05], [LG06], [Lü07] Die Fa. Voigt Systemtechnik wollte deshalb gemeinsam mit den Partnern aus Forschung und Industrie die Anlagentechnik so weiterentwickeln, dass neben den bisher als Matrixmaterialien eingesetzten Polyethylen und Polypropylen auch bei höheren Temperaturen schmelzbare Matrixmaterialien wie beispielsweise Polyamide, wie sie zunehmend für hochbeanspruchte, innovative Hochleistungskunststoffe/Leichtbau verwendet werden, verarbeitbar sind. Durch die Erweiterung der anlagentechnischen Möglichkeiten sieht der Antragsteller Chancen für Anlagenverkäufe im Zukunftsmarkt der hoch belastbaren Leichtbauprodukte.

Zielstellung des Projektes war die Schaffung der entwicklungsseitigen Voraussetzungen, um über das Pull-Drill-Granulatherstellungsverfahren mechanisch und tribologisch wirksame Aramidfasern für thermoplastische, höher temperaturbeständige, spritzgegossene Verbundwerkstoffe mit hohem Umweltpotenzial industriell nutzbar zu machen.

Die Schwerpunkte der Entwicklungen waren:

- a) die anlagentechnischen Voraussetzungen zu schaffen und zu optimieren,**
- b) die technologischen Verfahrensparameter auszuloten und**
- c) Endproduktsortimente zur Sicherung stabiler und wirtschaftlicher Produktionsmengen zu erschließen.**

Im Detail galt es, anlagen- und maschinenbauliche Konzepte zu erarbeiten, auf Versuchsständen zu testen und optimierte technische Lösungen in einer Prototypproduktionsanlage zu realisieren. Zum Stand der Kenntnisse war es erforderlich, insbesondere technische Lösungen im Bereich der schnelleren Bandaufheizung und Kompaktierung, im Bereich einer effizienteren Strangkühlung und im Bereich des Strangschneidens bei einer Verdopplung der Durchlaufgeschwindigkeiten auf 50 m/min zu finden. Bei Einsatz von thermoplastischen Binfedern mit Schmelzpunkten $> 200\text{ °C}$ - hier wird der Schwerpunkt auf das Polyamid gelegt – waren die Verfahrensparameter so zu optimieren, dass im Zusammenspiel mit den anlagentechnischen Modifikationen und Neuentwicklungen ein für die Compoundierung/Spritzguss gut verarbeitbares Langfasergranulat bei Produktionsgeschwindigkeiten von mindestens 50 m/min resultierte. Schwerpunkte waren die Testung unterschiedlicher Faserstoffe (Recyclingfasern,

Primärfasern), Optimierung der Faserbandfeinheit, Ausloten eines vorteilhaften Verhältnisses von Aramidverstärkungsfasern und Polyamidbindefasern. Durch die Herstellung von unterschiedlichen Granulatversuchsmengen sollte das Vermarktungspotenzial getestet und optimiert werden. Ziel war es, eine vermarktbare Granulatsortimentspalette, charakterisiert durch Fasergehalte, Bindefaserart, Verstärkungsfasertyp (Aramidprimär, Aramidrecycling), und Granulatkornabmessungen zu entwickeln. Mit in das Projekt einbezogene Endprodukthersteller sollten diese Sortimente bezüglich ihrer Eignung testen und unterschiedliche Endprodukthanwendungen erschließen. Hier galt es, die für eine Produktion notwendige Mengenbasis und Wirtschaftlichkeit sicherzustellen und nachzuweisen. Als Endprodukthanwendung war anfänglich der Bereich der Gleitprofile und Gleitschienen für Getreidesiebe vorgesehen, was sich im Projektverlauf änderte und eine Zahnradanwendung mit einem höheren Anwender-Umweltnutzen ausgewählt wurde.

Als Projektpartner fungierten:

- Fa. Voigt Systemtechnik GmbH, Großbreitenbach,
- OMPG mbH, Rudolstadt,
- Fa. Opti-Polymers GmbH, Rudolstadt und
- Krischke Kunststofftechnik, Wutha-Farnroda.

und als Materiallieferant und zur Unterstützung bei der Markterschließung die

- Teijin Aramid GmbH, Wuppertal.

Mit ihren unterschiedlichen Kompetenzen repräsentierten diese Unternehmen die gesamte Wertschöpfungskette vom Faserrohstoff bis zum spritzgegossenen Endprodukt.

Gesamtziel ist, am Projektende mit einer industriellen Granulatproduktion zu starten.

Die Umwelteffekte werden neben dem umweltfreundlichen Granulatverfahren vorrangig in einer besseren Ökologie durch den hochwertigen Einsatz von Aramidprimär- als auch Recyclingfasern erwartet. Daraus herstellbare Produkte sollen als besonders langlebige, verschleißfeste und schallemissionsreduzierte Materialien nicht nur Energie und Rohstoffe einsparen. Als neue Werkstoffe beispielsweise im Ersatz von Metallen bilden sie die Grundlage für umwelt- und ressourcenschonende Leichtbaukonzepte und miniaturisierte Bauteile.

Angestrebte umweltrelevante Effekte:

1. Erweiterung der energieeffizienteren Herstellung von dosierbaren Fasergranulaten für die Compoundierung/Spritzguss auf aramidfaserhaltige Granulate mit einer höher schmelzenden Bindematrix.
2. Herstellung von aramidfaserhaltigen Granulaten mit deutlich höheren Aramidfasergehalten, als dies mit anderen Granulatherstellungsverfahren möglich ist = weniger Transport- und Lagervolumen
3. Wiedereinsatz von Aramid-Recyclingfasern aus Abfällen = Abfälle werden zu neuen Ausgangstoffen und ersetzen fabrikneue Fasermengen = Ressourceneinsparung

4. Fertigung von aramidfaserhaltigen Granulaten für den Einsatz in spritzgegossenen Verbundwerkstoffen mit folgenden umweltrelevanten Merkmalen:
- a)** Die hohe mechanische Belastbarkeit durch die Faserverstärkung ermöglicht den Ersatz von Metallbauteilen. Bei Ersatz unverstärkter Kunststoffe können schlankere, volumen- und massereduzierte Bauteile bei analoger oder höherer Belastbarkeit gefertigt werden. = **LEICHTBAU**.
- b)** Aramidfasern sind insbesondere gegen Reibbeanspruchungen widerstandsfähig. In aramidfaserhaltigen Kunststoffen führen sie dann zu besonders **reibverschleißfesten Bauteilen**. [BF06], [Do05], [LG06], [Lü07] Dies bedeutet:
- höhere Langlebigkeit,
 - sehr gute Trockenlaufeigenschaften und
 - Schmiermitteleinsparung.
- Bei Ersatz von Metallbauteilen durch aramidfaserverstärkte Kunststoffe ergeben sich zusätzliche Effekte durch geringere Schallemission infolge hoher Laufruhe z.B. von Zahnradgetrieben sowie eine hohe Chemikalienbeständigkeit von Kunststoffen im Vergleich zu Metall bis hin zu den sich dann erschließenden Einsatzmöglichkeiten im Lebensmittelbereich.

2 Projektergebnisse

2.1 Schaffung der anlagentechnischen Voraussetzungen

Die anlagentechnischen Voraussetzungen wurden von der Fa. Voigt Systemtechnik GmbH entwickelt und in einem Prototyp einer Produktionsanlage realisiert. In den Schlüsselbereichen einer leistungsfähigeren Strangheizung, Strangkühlung und eines Schneidkopfes für höhere Schnittgeschwindigkeiten wurden neue technische Lösungen entwickelt, Konstruktionsunterlagen erstellt, Komponenten im Modell gefertigt und diese auf Einzelversuchsständen getestet und funktionsoptimiert. Am Ende dieser Entwicklungs-Optimierungsschleifen wurden die neuen technischen Lösungen in einer Prototypproduktionsanlage umgesetzt.

Die beiden folgenden Bilder zeigen den erreichten Sprung in der Anlagentechnik von einem kleintechnischen Versuchsstand zu einer Produktionsanlage.



Bild 1: Bisherige Anlagentechnik

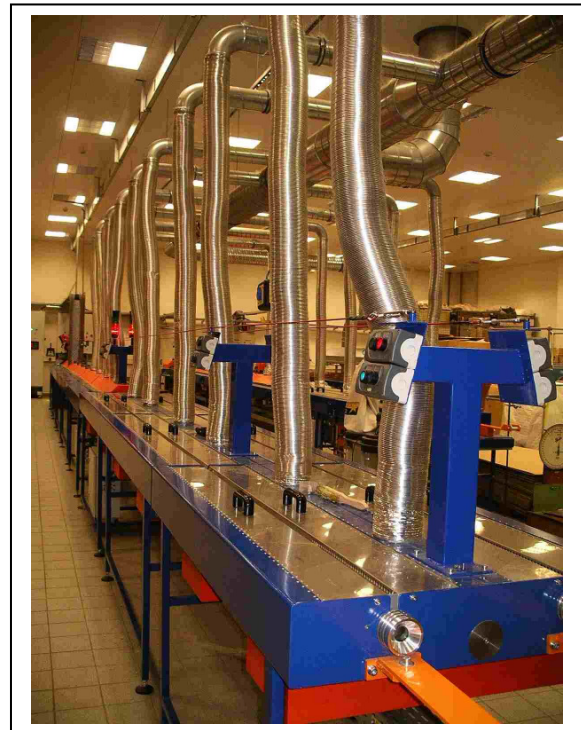


Bild 2: Neue modifizierte Anlagentechnik

Mit der neuen, modifizierten Pull-Drill-Anlage wurde folgender technischer Fortschritt erzielt:

	ALT	NEU
Baulänge der Maschine	8 m	18 m
Strangheizstrecke	2 m	6 m
Strangkühlstrecke	4 m	10 m
Produktionsgeschwindigkeit	max. 35 m/min	max. 60 m/min
Strangheiztemperatur	max. 350 °C	max. 450 °C
Verarbeitbare Bandfeinheiten	7-10 g/m	7-10 g/m
Schneidkopf	4-Messerkopf (HSS-Stahl)	10-Messerkopf (Hartmetall)

Damit konnten folgende technische Projektschwerpunkte gelöst werden:

1. Die höhere Heiz- und Kühlleistung der Anlage gestattet nun auch die Verarbeitung von Binfedern mit einem Schmelzpunkt $>200^{\circ}\text{C}$.
2. Es gelang eine Verdopplung der Anlagenleistung auf 60-72 kg Granulat/Stunde. Bei einem Endfasergehalt von 10% Aramid im Fertigbauteil nach der Compoundierung entspräche das einem spritzgegossenem, faserverstärktem Bauteiläquivalent von 480 bis 576 kg/h. Bei einer Produktionskapazität von 100 t/a Pull-Drill-Granulat wären das 1000 t/a Spritzgussgranulat.
3. Bei Geschwindigkeiten von 60 m/min sind bei Granulatlängen von 6 mm Schnittgeschwindigkeiten von 10.000 Schnitten/min technisch sicher mit hohen Messerstandzeiten für Aramid zu beherrschen. Aramid wird als ballistischer Schutz und als Schnittschutzmaterial eingesetzt und gilt als der am schwersten schneidbare Faserstoff.

Schlüsselentwicklungen waren hierzu:

- die Konstruktion eines 10-Messer-Kopfes mit einer Messerbestückung aus einer speziellen Hartmetalllegierung,
 - der Einsatz von 4-schneidigen Messern (drehbar nach Verschleiß) und
 - die Konstruktion von Schnellwechsellvorrichtungen zum schnellen Tausch verschlissener Schneidaggregate.
4. Entwicklung einer europaweit vermarktbar Anlage mit folgenden Voraussetzungen:
 - Gewährleistung der geforderten Arbeitssicherheit
 - Erstellen einer Anlagendokumentation,
 - CE-Zertifizierung,
 - Nachweis der Erfüllung der gültigen EU-Vorschriften.

Diese Anlage wurde in der OMPG aufgestellt, getestet und zur Versuchsgranulatfertigung eingesetzt.

Mit der neuen Anlage wurden über mehrere Tage Dauertestreihen mit Faserbändern aus der Textilindustrie auf Basis von 80% Aramidprimärfasern und 20% Polyethylenfasern sowie im Rahmen von Versuchsmengen mit Bänder aus 80% Recycling-Aramid und 20% Polyamid6 (PA6) sowie 20% Polyamid6.6 (PA6.6) sicher mit 50 m/min gefahren.

Es konnte nachgewiesen werden, dass mit dieser neuen, modifizierten Anlagentechnik Pull-Drill-Granulate mit bis zu 80% Verstärkungsfasergehalt im Produktionsmaßstab hergestellt werden können. Dabei können sowohl niedrig schmelzende Binfedern auf Basis von low density Polyethylen (PE-LD) und high density Polyethylen (PE-HD) als auch PA6- und PA6.6-Binfedern mit Schmelztemperaturen $>200^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden, so dass auch bezüglich verschiedener Granulatsortimente je nach Kundenwunsch eine breite Palette fertigbar ist.

Umweltrelevante Nutzeffekte

Das Pull-Drill-Verfahren ist ein neuartiges Verfahren, um verstärkungsfaserhaltige, mit einer thermoplastischen Matrix verfestigte Granulate für den weiterverarbeitenden Kunststoffsektor Compoundierung/Spritzguss zu fertigen. Gegenüber dem Stand der Technik der Herstellung solcher Granulate beispielsweise von der FACT GmbH (Future Advanced Composites &

Technology), Kaiserslautern mit einem patentierten Herstellverfahren für Stäbchengranulate [FA04] oder [He06], wo die bindende Thermoplastmatrix komplett während des Herstellungsprozesses aufgeschmolzen wird, erfolgt beim Pull-Drill-Prozess nur ein Schmelzen der Thermoplastmatrix in einem schmalen Mantelbereich der Granulathülle. Dies bedeutet eine große Energieersparnis, da deutlich weniger Masse aufgeheizt und anschließend wieder abgekühlt werden muss.

Weiterhin gestattet das Pull-Drill-Verfahren den Einsatz endlicher Recyclingfasern und eröffnet so den Weg für deren hochwertige Wiederverwendung als direkter Ersatz von Primärfasern. Als umweltrelevante Effekte ergeben sich daraus die stoffliche Wiederverwertung von Abfällen bei gleichzeitiger Einsparung von Primärfaserstoffen bei Einsparung der Ressourcen zu deren Herstellung.

Vergleicht man das Pull-Drill-Verfahren mit dem Stand der Technik der Herstellung pultrudierter Stäbchengranulate, zeigt sich folgendes Bild:

Merkmal	Pull-Drill-Verfahren	Pultrudierte Stäbchengranulate
Investbedarf	120.000 € je 100 t/a	3000.000 bis 500.000 €
Anschlussleistung	100 kW	150 kW
Leistungsaufnahme im Betrieb	20 kW	90 bis 100 kW
Primärfaserverarbeitung	ja	ja
Recyclingfaserverarbeitung	ja	nein
Verstärkungsfasergehalte	bis 80 %	bis 60 %

Tabelle 1: Umweltrelevante Merkmale des Pull-Drill-Verfahrens mit dem Verfahren zur Herstellung pultrudierter Stäbchengranulate als Stand der Technik

2.2 Technologische Tests und technische Optimierungen

Die Verarbeitungsversuche erfolgten nach folgendem Grundprinzip:

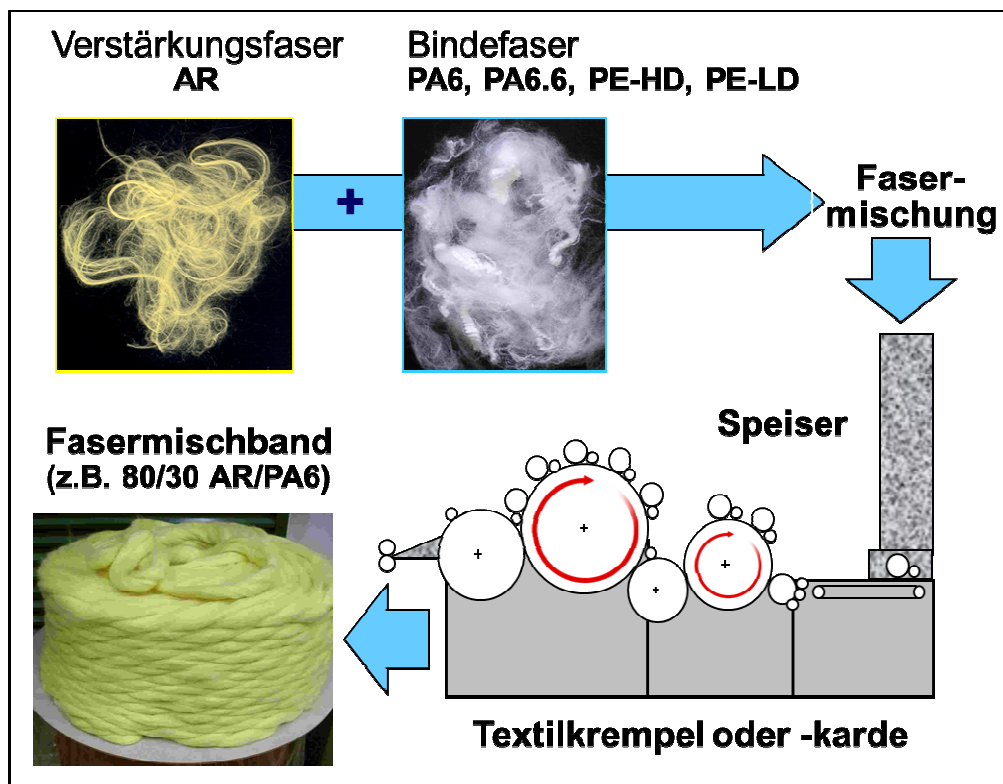


Bild 3: Prinzip der Herstellung von Mischfaserbändern als Ausgangsmaterial für Pull-Drill-Granulate = Stand textiler Faserverarbeitungstechnik

Am Anfang steht die Herstellung konventioneller textiler Mischfaserbänder. Hier können unterschiedliche Bindefasern und die später verstärkend wirkenden Aramidfasern als Primär- oder als Recyclingfasern eingesetzt werden. Die Fasermischungsverhältnisse sind dabei beliebig einstellbar.

Dieses im Bild 3 dargestellte Prinzip der Mischfaserbandherstellung ist Stand der Textiltechnik und wird mit anderen Faserstoffen und Mischungen für die Herstellung von Bekleidungs- und technischen Textilien weltweit angewandt.

Für eine Produktionsaufnahme von Pull-Drill-Granulaten können damit nutzbare Mischfaserbänder in Unternehmen der Textilindustrie in Lohnarbeit bei entsprechenden Qualitätsvorgaben gefertigt und bereitgestellt werden.

Folgende Industrieunternehmen wurden als potentielle Bandlieferanten getestet:

Lieferant	Bewertung der Bandqualität	Grenzen des Lieferanten
ARAMEX-Garne GmbH	sehr gut	Bandfeinheiten bis 7 g/m
Leinefelder Textilwerke	sehr gut	Bandfeinheiten bis 7 g/m
Peignage Dumortier S.A.	nach Optimierungen sehr gut	Bandfeinheiten bis 10 g/m
Borckenstein AG	geeignet bei verbesserter Bandgleichmäßigkeit	Bandfeinheiten bis 6 g/m
Frenzelit-Werke	geeignet bei verbesserter Bandgleichmäßigkeit	Bandfeinheiten bis 5 g/m
APTEC	ungeeignet, zu hohe Bandungleichmäßigkeit	Bandfeinheiten bis 10 g/m

Tabelle 2: Ergebnisse der Testung verschiedener potenzieller Bandlieferanten aus der Industrie

Aus diesen Tests mit industriell gefertigten Aramidmischfaserbändern ging hervor, dass es generell möglich ist, Faserbänder in einer ausreichenden Qualität für die Produktion von Pull-Drill-Granulaten zu beschaffen. Derzeit werden Faserbänder mit Feinheiten von 7 bis 10 g/m eingesetzt. Diese Bandfeinheiten sind für den Einsatz in der klassischen Textilindustrie um den Faktor 2 zu dick und die faserbandherstellenden Aggregate arbeiten hier bereits an der technischen Obergrenze bzw. einige industrielle Bandhersteller konnten mit älterer Technik diese groben Faserbänder nicht herstellen. Der Bandfeinheitsbereich, der industriell sicher beherrscht wird, liegt im Bereich von 3,5 bis 4,5 g/m. Bei Einsatz solcher Bänder hieße das für das Pull-Drill-Verfahren eine Halbierung der Anlagenleistung, was nicht zielführend wäre. Im Gegenteil besteht das Bestreben nach noch gröberen Bändern >10 g/m, um die Anlagenleistung und damit die Effizienz weiter zu steigern.

Das folgende Bild 4 zeigt das neuartige Prinzip der Herstellung der Pull-Drill-Granulate aus den vorher gefertigten Mischfaserbändern:

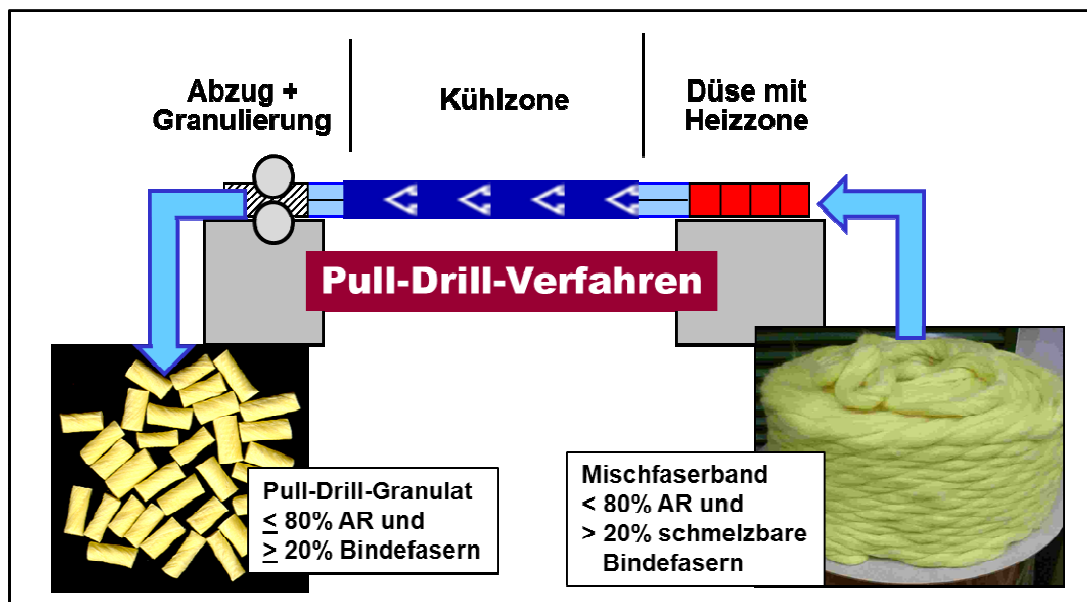


Bild 4: Prinzip der Pull-Drill-Granulatherstellung

Wie aus dem Bild 4 ersichtlich, ist der Mengendurchsatz neben der Durchlaufgeschwindigkeit maßgeblich von der Feinheit des einlaufenden Bandes abhängig. Das Bestreben muss sein, hier möglichst dicke (massereiche) Faserbänder einlaufen zu lassen.

Alle bisherigen Entwicklungsarbeiten basierten auf dem Einlauf eines Bandes von 7 bis 10 g/m in eine Arbeitsstelle der Maschine (Bild 5) als Obergrenze der industriell machbaren Bandfeinheit.



Bild 5: Ein-Band-Fahrweise



Bild 6: Zwei-Band-Fahrweise

Um dieses Problem der Zulieferer zu lösen, wurden Versuche mit dem Paralleleinlauf mehrerer Bänder gefahren (Bild 6). Es zeigte sich, dass es möglich ist, gleichzeitig, mehrere Faserbänder einlaufen zu lassen.

Damit entsteht die Möglichkeit, Mischfaserbänder aus der Textilindustrie in deren technisch sehr gut beherrschten Feinheiten von 3,5 bis 4,5 g/m zu beziehen und diese Bänder je nach Erfordernis an der Pull-Drill-Anlage 2- bis 4-fach einlaufen zu lassen.

Das folgende Bild 7 zeigt ein Pull-Drill-Granulat mit einem Aramidfaseranteil von 80%.



Bild 7: Pull-Drill-Granulat mit einem Aramidfaseranteil von 80%

2.3 Verarbeitungstest mit unterschiedlichen Materialmischungen

2.3.1 Aramidverstärkungsfasern

Aramidverstärkungsfasern auf para-Aramidbasis gelten als Hochleistungsfasern. Ihre Eigenschaften resultieren aus den hochkristallinen, fibrillären Faserstrukturen mit hoch in Faserrichtung ausgerichteten Molekülketten. Herausragende Eigenschaften sind die hohe Temperaturbeständigkeit, die hohe Festigkeit, niedrige Faserdichte und die extrem hohe Abriebfestigkeit der Fasern.

Typische Anwendungen für para-Aramidfaserstoffe sind [Tei01]:

- textile Anwendungen: ballistischer Schutz,
Schnittschutzbekleidung,
Kabelummantelungen,
Reifen,
Seile,
Förderbänder,
Kraftübertragungsriemen

- Anwendungen in Verbundwerkstoffen: Bremsscheiben,
Kupplungsbeläge,
Leichtbauverbunde in Kombination mit Glas-
und/oder Carbonfaserverstärkungen.

Für die Granulatversuche wurden para-Aramidstapelfasern „Twaron“ der Fa. Teijin Aramid BV, Arnhem (NL) mit der Feinheit 1,7 dtex und einer Schnittlänge von 38 mm eingesetzt. Wie bereits im Projekt DBU 22988 nachgewiesen, sind an Stelle von Primärfasern mit analogen Verstärkungseffekten Recyclingfasern aus Reißereien oder aus dem im TITK/OMPG entwickelten Mühlenrecyclingverfahren einsetzbar. Es wurde deshalb darauf verzichtet, diese Untersuchungen mit Recyclingfasern nochmals durchzuführen und der Schwerpunkt auf die thermoplastische Bindekomponente gelegt, die bisher nicht Gegenstand der Untersuchungen war.

2.3.2 Thermoplastische Binfasern

Die thermoplastischen Binfasern werden benötigt, um im Pull-Drill-Prozess die Verstärkungsfasern im Mantelbereich des Granulatstranges miteinander aufschmelzend zu verkleben.

In die Untersuchungen wurden folgende Binfaserpolymere einbezogen:

- Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) als Stand der Technik mit einem Schmelzpunkt von etwa 135 °C
- Polyethylen niedriger Dichte (PE-LD) als potentielles Universalbindepolymer mit einem Schmelzpunkt von etwa 110 °C
- Polyamid 6 (PA6) als Standardpolymer für Polyamid6-Matrices mit einem Schmelzpunkt von etwa 230 °C sowie
- Polyamid 6.6 (PA6.6) als Standardpolymer für Polyamid6.6-Matrices mit einem Schmelzpunkt von etwa 260 °C

Die thermoplastischen Binfasern wurden in folgenden Sortimenten mit den Aramidfasern textil gemischt:

- PE-HD mit einer Feinheit von 2,8 dtex und einer Faserlänge von 40 mm,

- PE-LD mit einer Feinheit von 7 dtex und einer Faserlänge von 60 mm,
- PA6 mit einer Feinheit von 3,3 dtex und einer Faserlänge von 60 mm sowie
- PA6.6 mit einer Feinheit von 3.3 dtex und einer Faserlänge von 60 mm.

Für die Testverarbeitung auf der Granulatanlage wurden folgende Fasermischungen mit der Zielstellung eines hohen Verstärkungsfaseranteils eingesetzt:

- 80/20 Aramid/PE-LD,
- 80/20 Aramid/PE-HD,
- 70/30 und 80/20 Aramid/Polyamid6 sowie
- 70/30 Aramid/Polyamid6.6.

Für alle 4 Aramid/Bindematrixvarianten konnten technologische Einstellungen ermittelt werden, um mit der modifizierten Pull-Drill-Anlage stabil Granulate in den Schnittlängen ≥ 6 mm zu produzieren.

2.4 Kleintechnische Versuchsmengen für die Compoundierung

Die hergestellten Verstärkungsfasergranulate können in dieser Form nicht direkt zu einem Spritzgussformteil verarbeitet werden. Verspritzbare Granulate werden deshalb von einem Compounder gezielt für die jeweilige Anwendung zusammengestellt. Dabei können neben der thermoplastischen Grundmatrix je nach Einsatzzweck und technischer Ausstattung des Spritzgießers eine Vielzahl weiterer Stoffe wie Antioxidantien, Gleitmittel, Schlagzähmodifikatoren, Antistatika, Talkum, Bariumsulfat, Kreide, Thermostabilisatoren, Lichtschutzmittel, Trennmittel, Entformungshilfen, Nukleierungsmittel, UV-Absorber und Flammenschutzmittel zugesetzt werden. Zu dieser Gruppe von Zuschlagstoffen zählen die Verstärkungsfasern. In der Regel basieren sie auf Glas, Carbon, Aramid oder Naturfasern. Vom Compounder können solche Verstärkungsfasern nur dann verarbeitet werden, wenn sie gut rieseln und sich im genauen Mengenverhältnis mit dem Grundpolymergranulat PP, PA6, PA6.6 dosieren lassen. Am besten gelingt dies, wenn auch die Verstärkungsfasern in einer Granulatform vorliegen, denn lange Fasern verklumpen und kurze Fasern bilden Faserstäube und könne sich ebenfalls zusammenballen.

Teilziel war, dass der Nachweis erbracht wird, dass die herstellbaren Pull-Drill-Granulate mit den hohen Verstärkungsfaseranteilen dementsprechend gut vom Compounder verarbeitet werden können. Ein wichtiges Merkmal für die Dosierbarkeit ist die Granulatlänge. Um neben der Herstellung verspritzbarer Versuchsmengen diesbezüglich die Grenzen für eine spätere Produktion auszuloten, wurden folgende Pull-Drill-Granulat-Sortimente für eine Versuchsverarbeitung bei der Fa. Opti-Polymers GmbH kleintechnisch in der OMPG mbH gefertigt::

- 80% Aramid / 20% PA6 mit einer Granulatschnittlänge von 8 mm
- 80% Aramid / 20% HD-Polyethylen (PE-HD) mit einer Granulatschnittlänge von 6 mm
- 80% Aramid / 20% LD-Polyethylen (PE-LD) mit einer Granulatschnittlänge von 10 mm

Diese Sortimente wurden im Maßstab von 10-20 kg an den Compounder, die Fa. Opti-Polymers GmbH ausgeliefert.

2.5 Compoundierung

Für die Compoundierung wurde ein Doppelschneckenextruder ZSK 40 der Fa. Coperion Werner & Pfeiderer eingesetzt. Die Einarbeitung der Pull-Drill-Granulate erfolgte in das Grundpolymer Polyamid-6. Über eine gravimetrische Dosierstation der Fa. Brabender erfolgte die Zudosierung der Pull-Drill-Granulate so, dass im spritzgießfähigen Endgranulat eine Aramidfaserkonzentration von 10%, 15% sowie 20% vorlag. Zusätzlich wurden neben den Aramidfasern Haftvermittler, Gleitmittel, Verarbeitungsstabilisatoren sowie Antioxidantien als Additive zugesetzt. Im Extruder wurden alle Materialien in der Polyamidschmelze homogen vermischt und dieses Gemisch durch eine Lochdüse aus dem Extruder ausgetragen und der entstandene Strang gekühlt und auf 3 mm lange Granulate für den Spritzguss eingekürzt. In umfangreichen Vorversuchen wurden die Verarbeitungsparameter optimiert, verschiedene Dosiermöglichkeiten und Compoundiereinstellungen getestet und der Compoundierprozess an diese neuartigen Granulate angepasst.

Bei allen Granulatvarianten war ein Verhaken der Granulate und gegenseitige Behinderung während des Dosiervorganges zu beobachten. Besonders störend waren hier von der Granulatoberfläche abstehende Einzelfasern, die aufgrund des geringen Bindemittelanteils von 20% nicht eingebunden waren, sowie die mit der zunehmenden Schnittlänge verbundene geometrische Größe der Fasergranulate. Dichteunterschiede von Fasergranulat und Polyamidpolymergranulat verstärkten die entmischenden Vorgänge bei der Zudosierung in den Extruder.

Von Seiten der Pull-Drill-Granulatherstellung werden daraus folgende Schlussfolgerungen gezogen:

- a) Reduzierung des Fasergehaltes von 80% auf 70%, um mit einem höheren Bindeanteil eine glattere Granulatoberfläche zu erzielen und
- b) Verringerung der Granulatabmessung durch Reduzierung der Granulatschnittlänge auf maximal = 6 mm.

Von Seiten des Compounders wird der Einsatz zusätzlicher Dosierhilfen in Form von Rührwerken und der Einsatz von Großtechnik mit damit verbundenen größeren Dosierwaagen, die eine Brückenbildung der Granulatkörner untereinander vermindern sollten, angeregt.

Von der Fa. Opti-Polymers wurden folgende Granulatsortimente zum Spritzgießen gefertigt:

- Für das Verspritzen zu Probekörpern für die Prüfung:

Um die Endprodukteigenschaften in Abhängigkeit zum Aramidanteil und zum eingesetzten Bindepolymer in den Pull-Drill-Granulaten zu ermitteln, wurden folgende verspritzbare Granulatsortimente compoundiert:

Pull-Drill-Granulat	PA6	Aramidanteil im compoundierten Granulat
80/20 AR/PE-HD	Granulat aus 100% PA6 (industriell verfügbar)	10 %
80/20 AR/PE-HD		15 %
80/20 AR/PE-HD		20 %
80/20 AR/PE-LD		10 %
80/20 AR/PE-LD		15 %
80/20 AR/PE-LD		20 %
80/20 AR/PA6		10 %
80/20 AR/PA6		14 %
80/20 AR/PA6		20 %

Tabelle 3: Übersicht zu den compoundierten Granulatsortimenten für die Spritzversuche und Prüfungen

- Für die Verarbeitung zum Bauteil bei der Fa. Krischke Kunststofftechnik:

Pull-Drill-Granulat	PA6	Aramidanteil im compoundierten Granulat
80/20 AR/PE-LD	Granulat 100% PA6 (industriell verfügbar)	20 %
70/30 ARrec./PA6		15 %

Tabelle 4: Übersicht zu den compoundierten Granulatsortimenten für die Bauteilherstellung bei der Fa. Krischke Kunststofftechnik

2.6 Verspritzen – Prüfkörperherstellung – mechanische Eigenschaften

Der Spritzguss ist ein bedeutendes Verfahren zur Herstellung von Kunststoffbauteilen auf Basis thermoplastischer Matrices. So werden etwa 60% aller Kunststoffteile auf Basis dieses Grundverfahrens industriell gefertigt [Ki07]. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen darin, dass damit Bauteile in einem weiten Massebereich von 1 mg bis ca. 25 kg bei geringen Zykluszeiten je nach Bauteil von wenigen Sekunden bis zu mehreren Minuten mit wenig Nachbearbeitungsaufwand hergestellt werden können.

Die in Tab. 1 aufgelisteten Granulatchargen wurden auf einer Spritzgießmaschine ARBURG 520 C 2000-675 in der OMPG mbH verarbeitet. Im Vergleich dazu wurden Proben aus 100% PA6 verspritzt. Zur Herstellung der Probekörper wurde ein modular aufgebautes, mit Tauchkanten ausgestattetes Werkzeug eingesetzt. Hier konnten wahlweise Platten oder Schulterstäbe für die mechanische Prüfung hergestellt werden. In Vorversuchen wurden die Verarbeitungsparameter optimiert. Danach konnten alle Granulatcompounds problemlos verarbeitet werden.



Bild 8: Eingesetzte Spritzgießmaschine ARBURG 520 C 2000-675

Bestimmung der mechanischen Eigenschaften

Zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften wurden folgende apparative Prüfungen vorgenommen:

- der **Zugversuch** als genormtes Standardverfahren der Werkstoffprüfung zum Messen der Zugfestigkeit und weiterer Werkstoffkennwerte als quasistatisches, zerstörendes Prüfverfahren nach DIN EN ISO 527-1,
- die **3-Punkt-Biegeprüfungen** nach DIN EN ISO 178 zur Ermittlung des Biege-E-Modul und der Spannung bei 3,5% Dehnung,
- die **Schlagzähigkeit** nach DIN EN ISO 179/1eU und **Kerbschlagzähigkeit** nach DIN EN ISO 179/1eA zur Beschreibung der Materialfähigkeit, Stoßenergie und Schlagenergie zu absorbieren, ohne zu brechen. Im Unterschied zur Schlagzähigkeit wird bei der Kerbschlagzähigkeit der Probekörper eingekerbt.

In den folgende Grafiken wurden die ermittelten Prüfergebnisse veranschaulichend dargestellt:

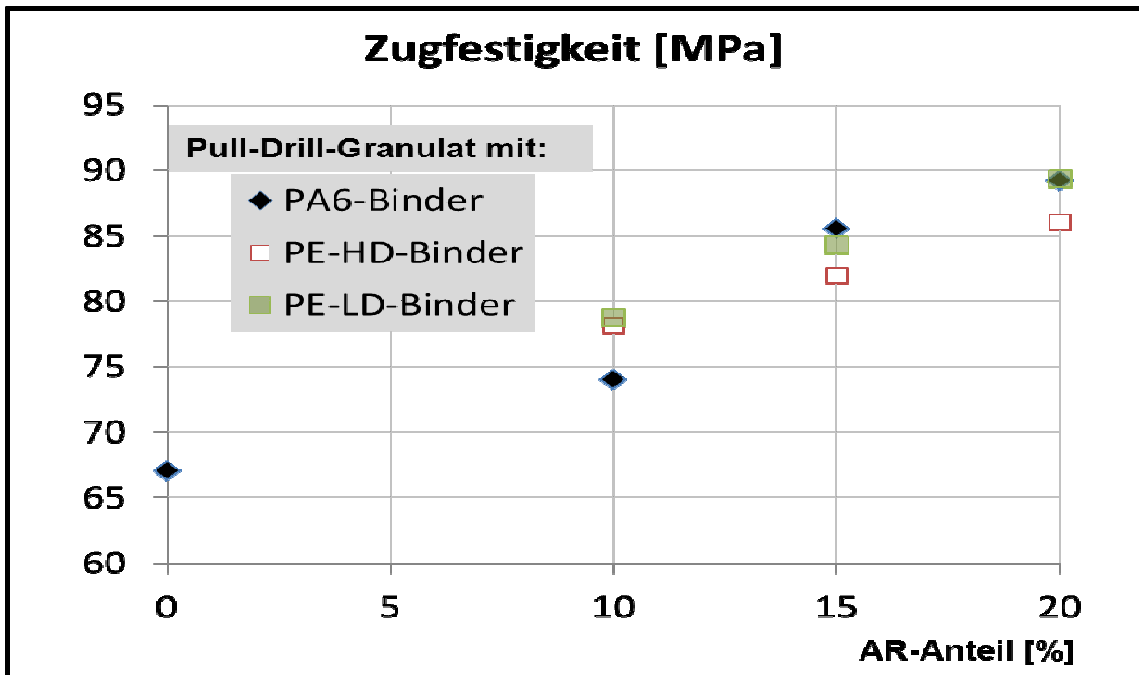


Bild 9: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Zugfestigkeit eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat

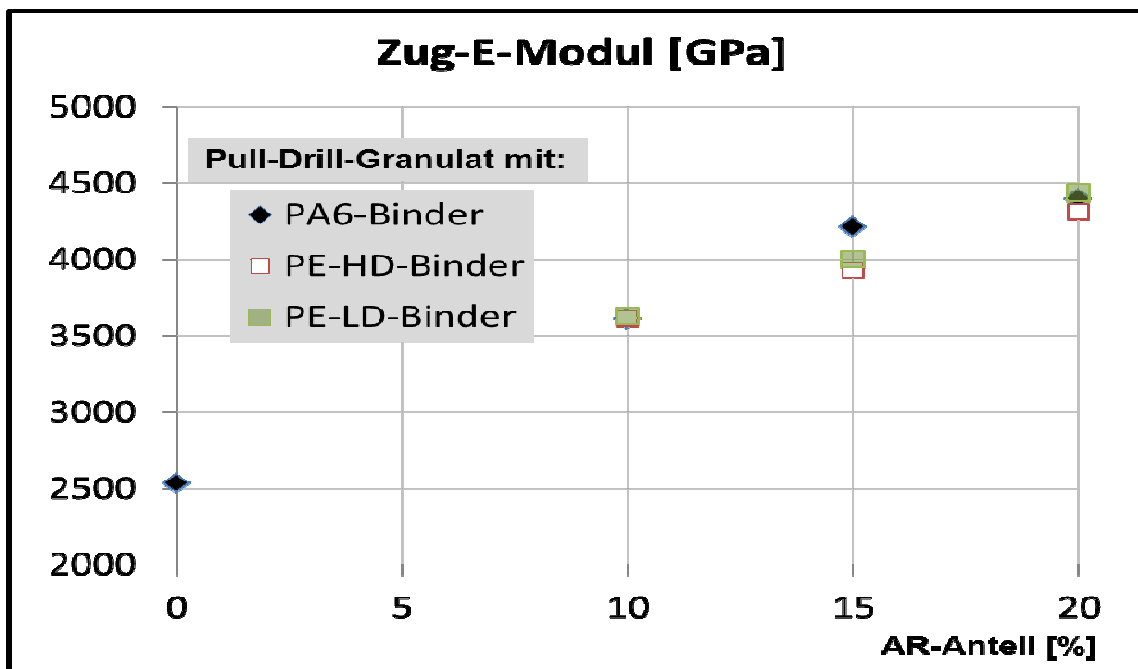


Bild 10: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Zug-E-Modul eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat

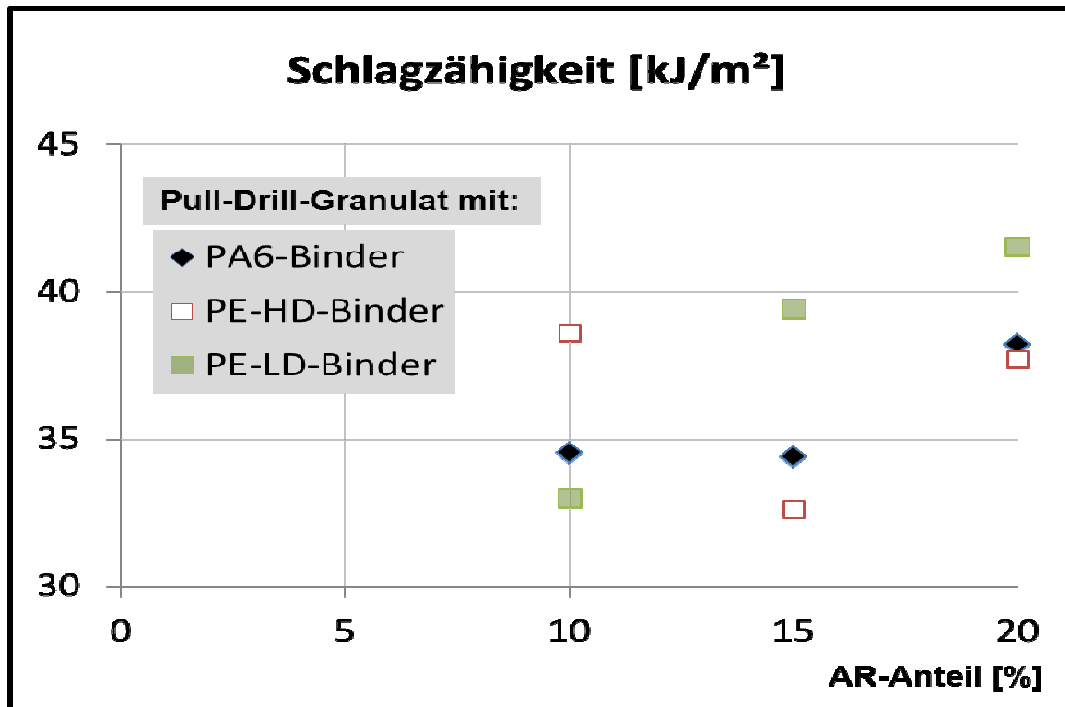


Bild 11: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Schlagzähigkeit eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat

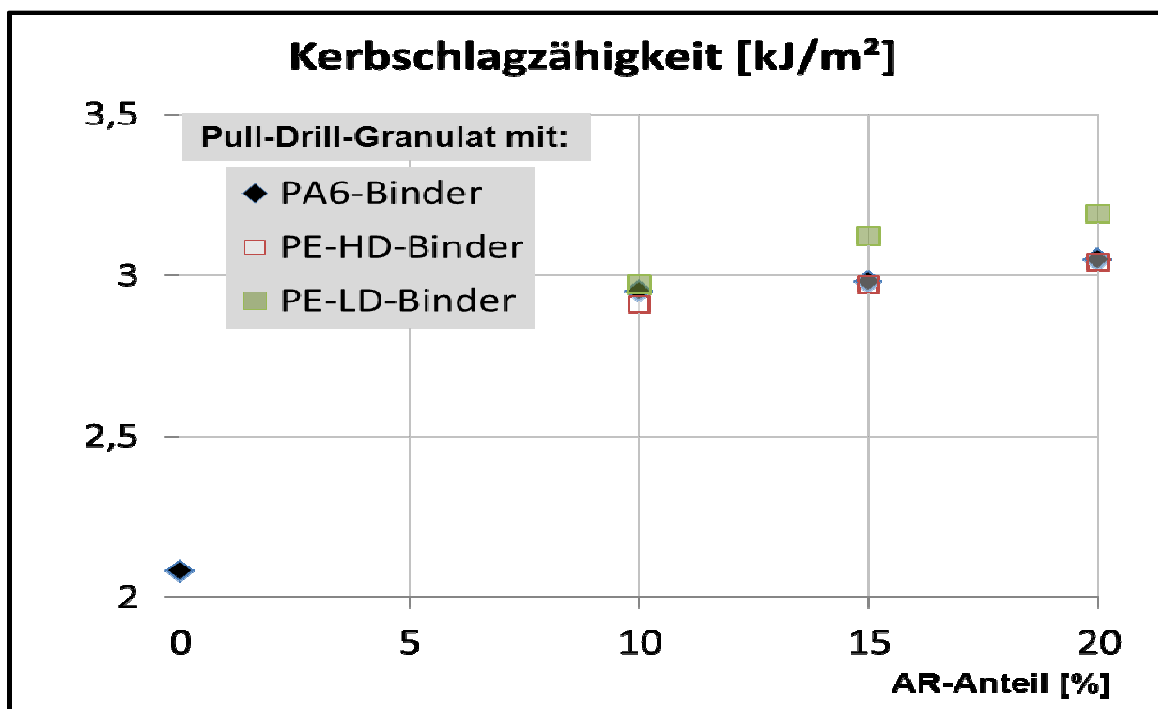


Bild 12: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Kerbschlagzähigkeit eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat

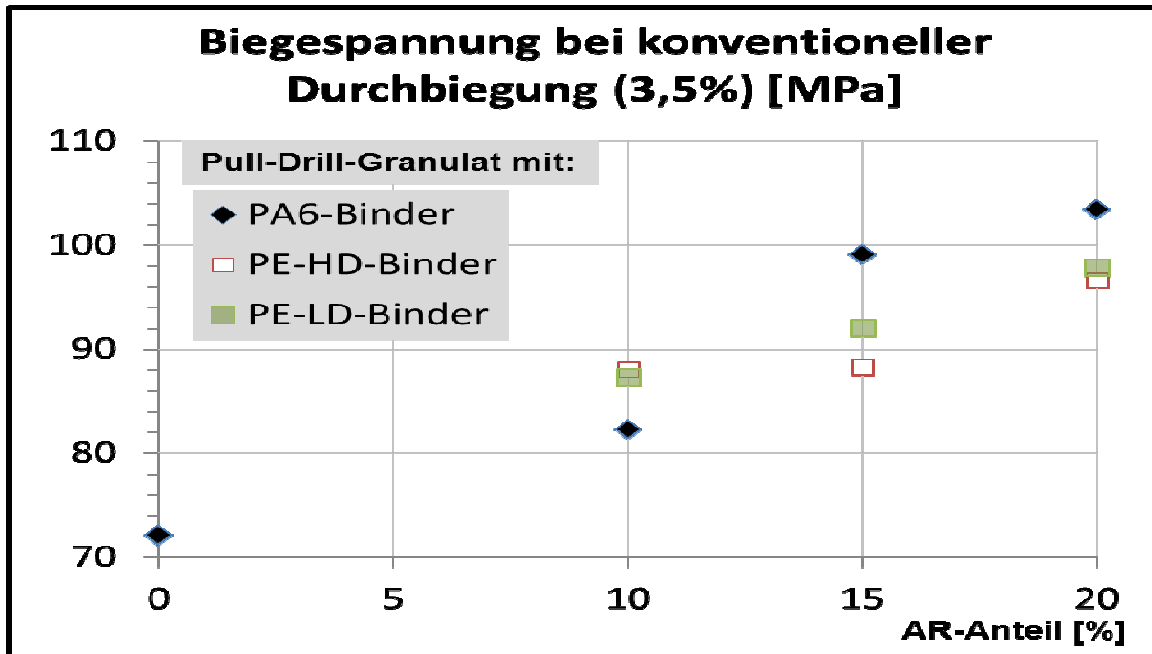


Bild 13: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Biegespannung bei 3,5% Durchbiegung eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat

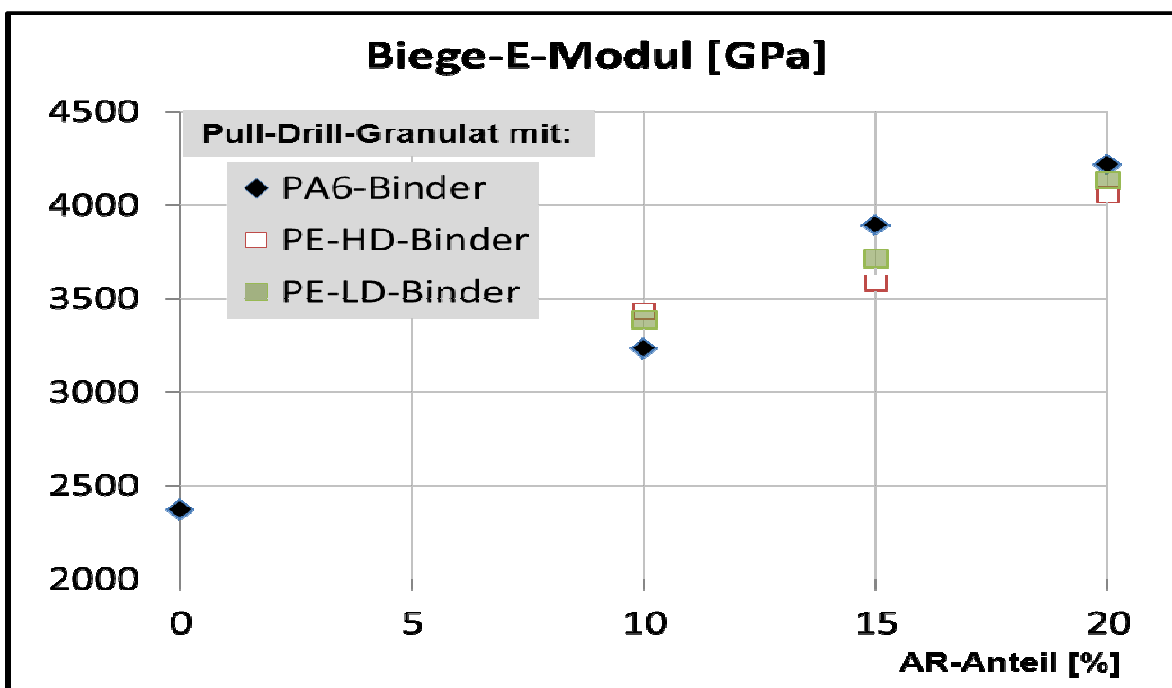


Bild 14: Zusammenhang zwischen Aramidanteil und Biegesteifigkeit eines spritzgegossenen Probekörpers in Abhängigkeit zum Bindepolymer im eingesetzten Pull-Drill-Granulat

Die Diagramme der Bilder 9 bis 14 zeigten erwartungsgemäß, dass mit zunehmendem Aramidfaseranteil die Qualitätsparameter ansteigen.

Bezüglich des Einflusses des Bindepolymers in den Pull-Drill-Granulaten wurden folgende Tendenzen sichtbar:

- Bei Zugbelastung zeigten sich die geringsten Einflüsse. Alle 3 eingesetzten Bindepolymere ergaben Prüfwerte auf einem vergleichbaren Niveau.
- Beim Biegeversuch brachte tendenziell die PA6-Bindematrix die besten Werte, gefolgt vom PE-LD als Binder im Pull-Drill-Granulat
- Bei der Schlagzähigkeit ergaben sich bei Einsatz von PE-HD die besten Ergebnisse.

Daraus schlussfolgernd können folgende Empfehlungen für ein Pull-Drill-Granulat-Sortiment abgeleitet werden.

Bindefaser (20 - 30 %)	Kosten der Bindefaser	Bandfertigung	Pull-Drill-Granulatfertigung	Faserverbund-einsatz für
PA6	höher als PE-LD und PE-HD	Alle drei Bindefasertypen sind mit einem vergleichbaren umweltrelevanten Aufwand zu einem Mischfaserband verarbeitbar.	hohe Heiz- und Kühlleistung erforderlich	hohe Biegesteifheit
PE-LD	niedriger als PA6		geringster Heiz- und Kühlaufwand	ausgewogenes Eigenschaftsspektrum
PE-HD	wie PE-LD		geringerer Heiz- und Kühlaufwand als PA6	hohe Schlagzähigkeit

Tabelle 5: Abgeleitete Empfehlungen für verschiedene Pull-Drill-Granulatsortimente

Als Favorit zeigte sich PE-LD als Bindefaserpolymer im Pull-Drill-Granulat. Es brachte einerseits die ausgewogensten Verbundeigenschaften in einer PA6-Matrix und benötigte aufgrund seiner niedrigen Schmelztemperatur den geringsten Energieaufwand bei der Granulatherstellung. Für besonders hohe Ansprüche können wahlweise PA6- als auch PE-HD-Bindefasern mit einem entsprechend höheren Energieaufwand verarbeitet werden.

2.7 Industrielle Verarbeitung von Spritzgussgranulaten aus Pull-Drill-Granulatkonzentraten – Endprodukt – Gebrauchswert

Die industrielle Verarbeitung der compoundingierten Spritzgussgranulate wurde bei der Fa. Kirschke Kunststofftechnik als Projektpartner vorgenommen. Verspritzt wurden die beiden in Tabelle 2 aufgelisteten Sortimente mit jeweils 20 % und 15 % Aramidfasern in einer PA6-Grundmatrix bei Einsatz des Pull-Drill-Granulatsortimentes 80/20 AR/PE-LD für die 20 % Aramidvariante und 70/30 ARrec./PA6 für die 15 % Aramidvariante.

Als Industrieprodukt waren in der Antragstellung Gleitschienen und Gleitprofile für Getreidesiebe, die bisher aus getemperten **Ultrahochmolekularen Polyethylen-** (UHMPE-) Platten gefertigt wurden, durch aramidfaserverstärkte Polyamid6-Profile zu ersetzen. Diese Gleitprofile und Gleitschienen wurden inzwischen durch andere technische Neuerungen an der Getreidesiebanlage überflüssig, so dass eine neue praktische Anwendung gefunden werden musste. Von der Fa. Kirschke Kunststofftechnik wurde als Alternative ein derzeit verwendetes Antriebsritzel vorgeschlagen. Dieses Ritzel bestand in der Vergangenheit aus Grauguss und sollte nun durch ein aramidfaserverstärktes Polyamid6-Spritzgussritzel als neue Praxisanwendung ersetzt werden.

Das folgende Bild zeigt das neue Endprodukt aus aramidfaserverstärktem Polyamid6.

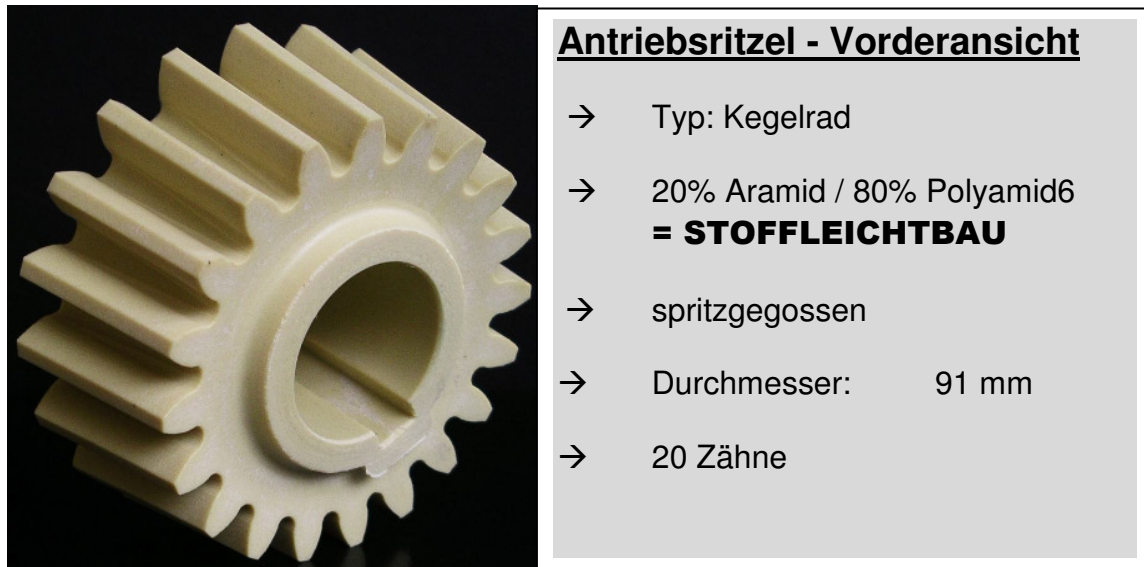


Bild 15: Endprodukt Antriebsritzel - Vorderansicht und Kenndaten

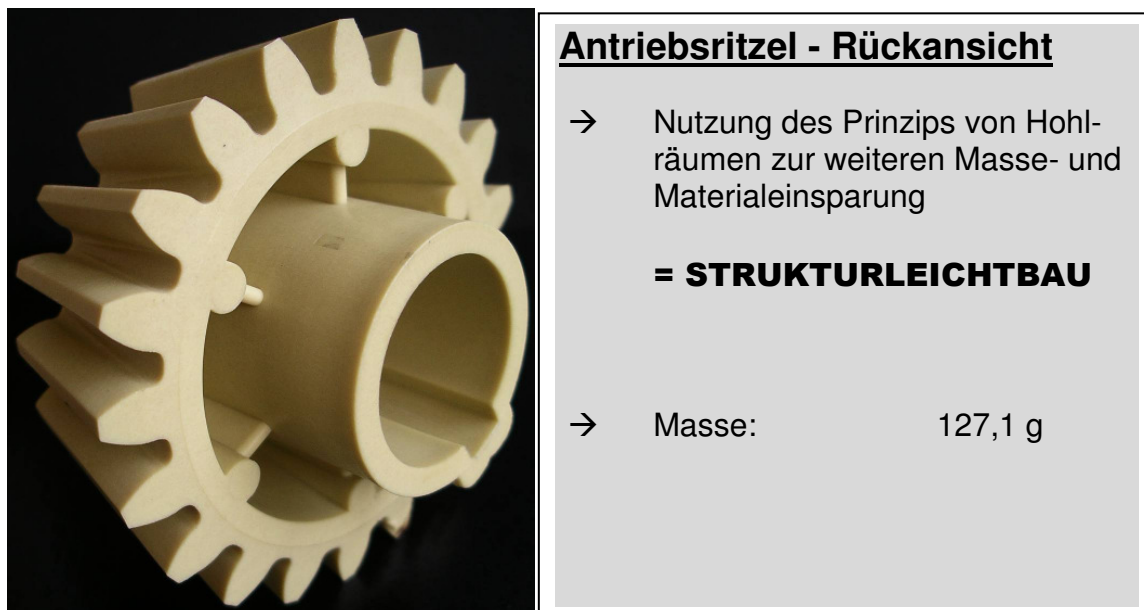


Bild 16: Endprodukt Antriebsritzel - Rückansicht

Bei der Fertigung des Antriebsritzels wurden gleichzeitig zwei Leichtbaugrundprinzipien ausgenutzt, der Stoffleichtbau in Form des Ersatzes von Grauguss durch Kunststoff sowie der Strukturleichtbau, indem ein Vollmaterial durch eine Konstruktion mit Hohlräumen ersetzt wurde.

Die folgende Tabelle vergleicht vereinfacht die Schritte der Fertigung von Antriebsritzeln nach diesen beiden Technologien in den Hauptparametern.

Parameter	Aramidverstärktes PA6	Grauguss
Fertigungsschritte	Spritzguss	1. Gießen 2. Tempern 3. Fräsen
Gussformeinsatz	mehrere Tausend Mal	ein Mal
Gusstemperatur	ca. 250 -260 °C	ca. 1150 °C
Zeitbedarf	< 1 Minute	> 1 h
Dichte als Maß für die Zahnradmasse (Transportaufwand)	1,2 g/cm ³	7,2 g/cm ³

Tabelle 6: Vereinfachter Vergleich von Spritzguss mit Grauguss

Neben der Einsparung von Fertigungsschritten ist der Kunststoffspritzguss deutlich schneller, erfordert weniger Energie und führt zu sehr leichten Bauteilen. Allein diese Faktoren sind so bedeutend, dass bereits seit Jahren dieser Trend des Ersatzes von Metall durch Kunststoffe intensiv betrieben wird und neben den Kostenvorteilen die Umwelt stark entlastet werden kann.

Gegenüber der herkömmlichen Produktion der Fertigung dieses Antriebsritzels im Graugussverfahren werden durch die Umstellung auf spritzgegossene Bauteile aus aramidfaserverstärktem Polyamid zusätzliche umweltrelevante Effekte ausgelöst:

- Weniger Produktionsabfälle durch den Wegfall von Fräsabfällen heißt bessere Materialausnutzung und eingesparte Entsorgungskosten.
- Geringerer Materialeinsatz durch Ausformung von massereduzierten Strukturen = Leichtbau
- Einsatz von Recyclingfasern aus der Aufbereitung textiler Aramidfaserabfälle als 100% Ersatz für Primäraramidfasern = stoffliche Wiederverwertung auf höchstem Niveau
- Der Fertigungsprozess des Spritzgießens emittiert wesentlich weniger Lärm, als die spanenden Prozesse des Sägens, Bohrens und FräSENS

Nicht nur bei der Herstellung, sondern auch bei der Anwendung in einer Getreidevorreinigungsanlage bringt der Einsatz des aramidverstärkten Antriebsritzels eine Reihe umweltrelevanter Effekte. Neben der geringen Masse im Vergleich zur Graugussvariante ist das aramidfaserverstärkte Antriebsritzels wesentlich verschleißfester. Es verfügt über eine wesentlich geringere Neigung zum Ausbrechen der Zähne bei gleichzeitig höherer Reibverschleißfestigkeit. Dies erhöht die Lebensdauer und ist gepaart mit einer hohen Laufruhe bei den nun realisierten Zahnradpaarungen Kunststoff/Metall im Vergleich zur bisher verwendeten Paarung Metall/Metall. Aramidfaserverstärkte Kunststoffzahnäder verfügen generell über herausragende selbstschmierende Effekte, so dass der Schmierstoffeinsatz reduziert werden kann und bei eventuellem Trockenlaufen über die so sichergestellten Notlaufeigenschaften Havarien verhindert werden können.

3 Bewertung der Vorhabensergebnisse

3.1 Vergleich der Projektergebnisse mit der Zielstellung

Gegenstand der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten war, die in den letzten Jahren in der OMPG entwickelte Verfahrensgrundlage der Herstellung neuartiger Pull-Drill-Granulate mit einem hohen umweltschonenden Potenzial bezüglich Herstellung und Anwendung anlagenseitig von der Fa. Voigt Systemtechnik soweit zu modifizieren, dass auch höher als Polyethylen schmelzende Bindefasern für hochwertige Faserverbundwerkstoffe verarbeitet werden können.

Hierzu galt es:

- a) die anlagentechnischen Voraussetzungen zu schaffen und zu optimieren,**
- b) die technologischen Verfahrensparameter auszuloten und**
- c) Endproduktsortimente zur Sicherung stabiler und wirtschaftlicher Produktionsmengen zu erschließen.**

Von der Fa. Voigt Systemtechnik wurden anlagenseitige Modifikationen entwickelt, in mehreren Testzyklen optimiert und auf einen vermarktbareren Entwicklungsstand gebracht. Der Prototyp solch einer Anlage als Resultat der technischen Optimierungen wurde in der OMPG in ihrer Funktionssicherheit getestet, zur Entwicklung von Technologien zur Herstellung von Pull-Drill-Granulaten mit hohen Aramidfasergehalten bei Einsatz unterschiedlich hoch schmelzender Bindefasern verwendet und zur Herstellung von Versuchsmengen im Rahmen des Projektes genutzt.

Am Projektende dient diese Prototypanlage als Referenzanlage für potentielle Anlagenkäufer und als Produktionsmaschine, um erste Granulatmengen herzustellen und zur Verstärkung von Kunststoffen im Spritzgusssektor zu vermarkten.

Zur Sicherung einer guten industriellen Vermarktbarkeit wurden Technologien entwickelt, um aus der Textilindustrie beziehbare Mischfaserbänder in einem weiten, je nach Ausstattung des Bandherstellers produzierbaren Bandfeinheitsbereichen von 4 bis 10 g/m sicher zu Granulaten zu verarbeiten. Die angestrebten Aramidfasergehalte können hier bis 80 % betragen. Als Aramidfasern sind sowohl Primär- als auch Recyclingfasern der Teijin Aramid B.V. einsetzbar. Als thermisch bindende Matrixfasern sind neben den energetisch günstigeren, niedrig schmelzenden Polyethylenen auch höher schmelzende Polyamide in handelsüblicher Faserform einsetzbar.

Als Grundlage für eine industrielle Vermarktung und der Wirksammachung umweltrelevanter Nutzeffekte wurde neben den anlagentechnischen und verfahrenstechnologischen Voraussetzungen die gesamte Stoffkette von den Ausgangsstoffen bis zum Endprodukt mit den Projektpartnern aufgebaut.

Die Produktionskette von den Ausgangsstoffen bis zum Endprodukt stellt sich gegenwärtig wie folgt dar:

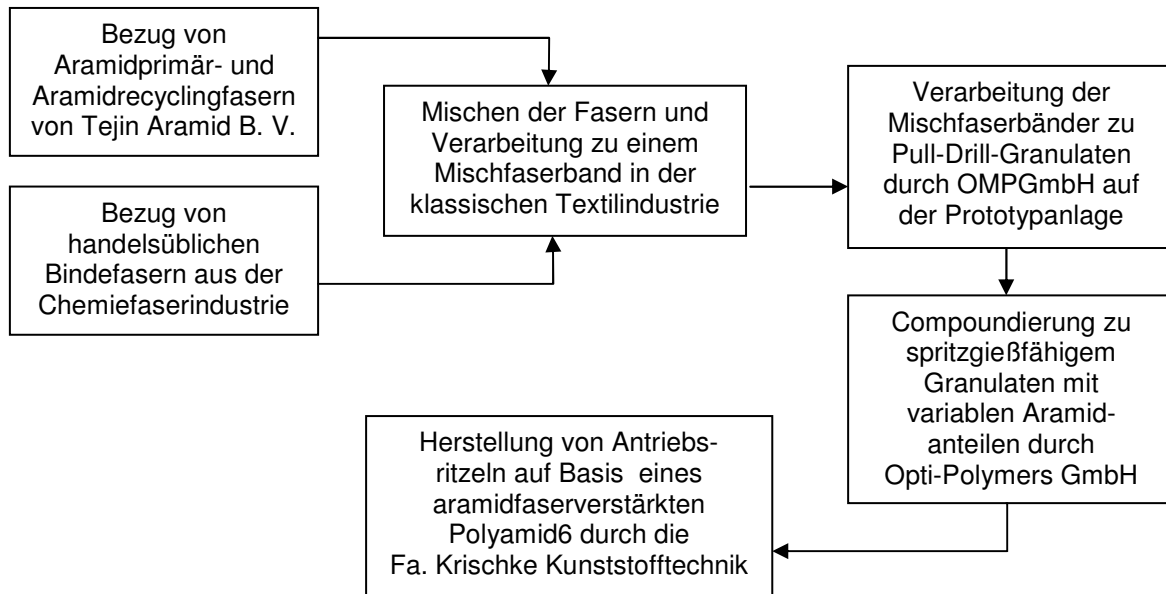


Bild 17: Produktionskette zur Nutzung von Aramidfasern in faserverstärkten, spritzgegossenen Leichtbaustrukturen

Beim Test dieser Produktionskette zeigte sich, dass es bezüglich der Verarbeitbarkeit der Pull-Drill-Granulate mit einem Fasergehalt von 80% beim Compounder zu Dosierproblemen kam, die im Rahmen der nächsten Liefermengen durch technisch/technologische Optimierungen beim Compounder behoben werden sollen. Dies ist nicht mehr Gegenstand dieses Projektes und wird von den Partnern eigenständig vorgenommen. Weiterhin gilt es in den nächsten Monaten, durch gezielte Werbemaßnahmen die Endproduktpalette zu erweitern und zusätzlich Anwendungen zu erschließen.

Alle im Projekt konzipierten Zielstellungen konnten damit erreicht werden. Mit der Anwendung im Industriemaßstab wird eine Reihe von umweltrelevanten Nutzeffekte erschlossen.

3.2 Umweltrelevante Nutzeffekte durch aramidfaserverstärkte Kunststoffe im Spritzguss durch Pull-Drill-Granulate

Das Umweltpotenzial aramidfaserverstärkter Kunststoffe ist sehr vielfältig und bei konkreten praktischen Anwendungen lassen sich oft mehrere Effekte gleichzeitig ausnutzen.

In der folgenden Tabelle wurde zusammenfassend dieses Potenzial mit den durch die praktische Anwendung als Antriebsritzel in einer Getreidevorreinigungsanlage nutzbar gemachten Umwelteffekten dargestellt.

Umweltrelevantes Nutzpotezial von Aramid-Pull-Drill-Granulaten für die Compoundierung/Spritzguss	durch das Projekt realisiert
Die Granulatherstellung nach dem Pull-Drill-Verfahren ist wesentlich energieärmer als die Herstellung konventioneller Fasergranulate.	x
Das Pull-Drill-Verfahren ermöglicht erstmals den Einsatz von textilen Recyclingfasern für spritzgießfähige Fasergranulate und öffnet damit den Weg für eine hochwertige Wiederverwertung von Abfallmaterialien.	x
Das Pull-Drill-Verfahren ermöglicht die Herstellung von aramidfaserhaltigen Granulaten mit höheren Aramidfasergehalten, als dies mit herkömmlichen anderen Granulatherstellungsverfahren möglich ist = weniger Transport- und Lagervolumen.	x
Aufgrund ihrer guten Fließfähigkeit eignen sich die Materialien beim Spritzguss für die Herstellung sehr dünnwandiger Formteile. Bedingt durch die Morphologie der Aramidfaser- Compounds bleiben – im Unterschied zur Verwendung anderer Fasern – die mechanischen Formteileigenschaften unverändert. Sehr dünnwandige Formteile kombiniert mit den hohen mechanischen Grundeigenschaften erfüllen die Grundvoraussetzung für einen effektiven Leichtbau.	
Bei der Verarbeitung der aramidfaserverstärkten Granulate bildeten sich im Spritzgusswerkzeug keine Ablagerungen. Der Spritzgießprozess wird einfacher, schneller und kostengünstiger als bei anderen selbstschmierend ausgerüsteten Produkten. Wegen ihrer nichtabbrassiven Eigenschaften senken Aramidfasern den Verschleiß an den Plastifiziereinheiten, Düsen und Werkzeugen im Spritzgussprozess auf ein Minimum.	x
Neben positiven Effekten bei der Granulatherstellung und bei der Bauteilfertigung im Spritzguss kann man wesentliche Effekte bei der Bauteilanzwendung erzielen. Die Endprodukte werden oft als Ersatz von Metallen verwendet. Sie sind gegenüber den Metallen wesentlich leichter und dienen insbesondere der Umsetzung von Leichtbaustrategien mit den sich daraus ergebenden vielfältigsten Umwelteffekten durch niedrigere Energie- und Transportkosten.	x
Durch die Aramidfasern sind die Bauteile gegenüber unverstärkten Kunststoffen mechanisch wesentlich höher belastbar. Eine höhere Abriebbeständigkeit beim Reibverschleiß erhöht die Lebensdauer von Produkten. [BF06], [Do05], [LG06], [Lü07]	x
Niedrige Reibungskoeffizienten durch Aramidfasern bewirken eine direkte Energieeinsparung während des Betriebes. Andererseits vermindert dies das Risiko der thermischen Bauteilüberlastung durch verringerte Reiberwärmung.	x
Aramidfasern in Kunststoffen führen zu selbstschmierenden Eigenschaften im Reib/Gleitkontakt. Dies spart nicht nur Schmiermittel sondern entlastet die Umwelt durch Ausschaltung oder Minderung von Schmiermittelkontaminationen.	x
Höhere chemische Beständigkeiten gegenüber Wasser, Säuren und Laugen erlauben dortigen Einsatz und sind generell nutzzeitverlängernd bei allen Anwendungen.	
Aramidfaserverstärkte Bauteile verfügen über ein sehr gutes Schwingungs- und	x

Geräuschkämpfungsverhalten. Sie reduzieren damit bei der Anwendung den Lärmpegel und können beispielsweise in Zahnradgetrieben wesentlich zur Lärmemissionsminderung beitragen.	
Die Lebensmittelechtheiten von Kunststoffen erlauben den Einsatz in der Lebensmittelbranche.	x

Tabelle 7: Umweltpotenzial von Pull-Drill-Granulaten und die Umsetzung als Projektergebnis

3.3 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Die modifizierte Prototypanlage einer vermarktbareren Produktionsmaschine wird nach Projektabschluss einerseits als Referenzanlage für interessierte Kunden des Anlagenbauers, Fa. Voigt Systemtechnik genutzt, andererseits dient sie in der OMPG zur Fertigung und Entwicklung kundenspezifischer Granulatprodukte auf Basis aramidfaserhaltiger Pull-Drill-Granulate.

Die Anlage verfügt über eine Produktionskapazität von 50 t/a. Damit ist es möglich, sowohl Mustermengen für Produktentwicklungen als auch Produktionsmengen als Überbrückung bis zur Inbetriebnahme kundeneigener Pull-Drill-Granulatanlagen zu fertigen.

Zur Gewinnung von Kunden für einen Anlagenkauf und zum Ausbau der vermarktbareren Mengen werden die Ergebnisse auf breiter Schiene durch die in das Projekt involvierten Partner veröffentlicht. Hierzu werden die Hompages der Unternehmen genutzt und Fachartikel in Fachzeitschriften platziert.

Die Granulate werden auf verschiedenen Messen sowohl durch die Teijin Aramid B.V. als auch durch OMPG ausgestellt. Schwerpunkte sind hier Kunststoffmessen und Messen für technische Textilien.

Bei Kundenbesuchen in der OMPG wird die Anlage in den anlageninformativen Technikumsrundgang mit eingebunden und so auf das Verfahren und die Produkte aufmerksam gemacht.

Literaturverzeichnis

- [BF06] Bieringer, H. und Flöck, J.: Kunststoffe für tribologische Anwendungen, Seminar „Tribologische Eigenschaften von thermoplastischen Kunststoffen“, 03.05. 2006, SKZ Würzburg
- [Do05] Dommershuijzen, E: Aramid fibers for engineered endurance
Teijin Aramid B.V.
- [FA04] anonym: FACT - Spezialist für Stäbchengranulat mit Langfaserverstärkung: Leichtbauwerkstoffe für die Fahrzeugindustrie. K -News vom 23.08.2004, http://www.kunststoffforum.de/information/news_fact---spezialist-fuer-staebchengranulat-mit-langfaserverstaerkung:-leichtbauwerkstoffe-fuer-die-fahrzeugindustrie_3282
- [He06] Herd, O.: *Langfaser verstärkte Kunststoffe und ihre Einsatzgebiete im Automobilbau*, Vortrag vom 26.10.2006
- [Ki07] KIPFELSBERGER, CH.: Kunststofferarbeitung, Vorlesungsskript Studiengang Werkstofftechnik, FH Jena 2007
- [LG06] Lang, U., Gardlo, G.: Gleitlager in Elektrokleingeräten, Seminar „Tribologische Eigenschaften von thermoplastischen Kunststoffen“, 03.05. 2006, SKZ Würzburg
- [Lü07] Lützkendorf, Renate: Aramidfasern aus Produktionsabfällen für tribologisch belastbare Formteile in elektrischen Haushaltsgeräten, Abschlussbericht DBU 22988-222
- [OM01] OMPG: Patente zum Pull-Drill-Verfahren und den resultierenden Granulaten DE 197 11 247, DE 299 11 623.9, EP 1 079 033
- [Reu05] REUSSMANN, T.: *Herstellung von Langfasergranulat nach dem Pull-Drill-Verfahren*. PP-NF Workshop, Hürth 30.06. - 01.07. 2005 (Vortrag)
- [RM99] Reußmann, T.; Mieck, K.-P.: Verfahrensentwicklung zur Herstellung von Langfasergranulat aus Stapelfasermischungen, Technische Textilien 11/1999, Seiten 264-266
- [RM0029] Reußmann, T. und Mieck K.-P.: Die Herstellung von Langfasergranulat für Verbunde - eine Alternative für konventionelle Spinnereien, 5. Dresdner Textiltagung, 28.-29.6.2000
- [Tei01] <http://www.teijinaramid.com/>