

# Wissenschaftliche Untersuchungen zur stofflichen Verwertung der textilen Restfraktion durch mechanische Ver- fahrensschritte und Entwicklung eines geschlossenen Gesamtkreislaufes

A. Bartl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**6/2011**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Wissenschaftliche Untersuchungen zur stofflichen Verwertung der textilen Restfraktion durch mechanische Ver- fahrensschritte und Entwicklung eines geschlossenen Gesamtkreislaufes

Dr. Andreas Bartl, Sebnem Haner, MSc., DI Davide Pico,  
Univ.-Prof. Ingo Marini, Gertraud Kasser-Heil,  
Josef Slanovc  
TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik  
und Technische Biowissenschaften

Wien, Juli 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.FABRIKderZukunft.at](http://www.FABRIKderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	5
Abstract .....	6
1. Einleitung .....	7
1.1 Rahmenbedingungen.....	7
1.2 Projektziele .....	9
2. Methoden .....	10
2.1 Chemische Analyse des Fasermaterials.....	10
2.2 Desintegration der textilen Abfälle .....	11
2.3 Abtrennung der Störstoffe.....	12
2.4 Mahlung .....	13
2.5 Morphologische Charakterisierung des Fasermaterials.....	14
2.6 Wasserrückhaltevermögen .....	15
3. Ergebnisse des Projektes .....	16
3.1 Faserzusammensetzung.....	16
3.2 Fasermorphologie .....	18
3.3 Wasserrückhaltevermögen .....	21
4. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie .....	23
5. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....	25
6. Ausblick und Empfehlungen.....	26
7. Literatur .....	27
8. Verzeichnisse.....	30





## Kurzfassung

Im Zuge der Sammlung von Altkleidern werden Bekleidungen ausgesucht, die sich nicht zum Wiederverkauf oder als Kleiderspenden für die Dritte Welt eignen, und einer teuren Entsorgung zugeführt werden müssen. Ziel des Projektes ist es, ein mechanisches Aufbereitungsverfahren zu entwickeln, mit dem diese Abfallstoffe einer stofflichen Verwertung, vornehmlich im Bereich Baustoffe, zugeführt werden können. Die Aufbereitungskette umfasst einen Desintegrations- und einem Trennschritt, um textile bzw. fasrige Komponenten von nichtfasrigen Anteilen zu trennen. In einem weiteren Schritt erfolgt eine Vereinzelung der Fasern und das Erreichen einer definierten Faserlänge, um die Eigenschaften des Recyclingproduktes auf die beabsichtigte Anwendung abzustimmen. Als mögliche Anwendungsgebiete kommen einerseits die Herstellung von Textilien oder Vliesstoffen, andererseits ein Einsatz von Kurzfasern in flüssigen oder pastösen Stoffen zur Viskositätserhöhung in Frage. Ziel ist die Zuführung aller Stoffe zu einem weiteren Nutzungszyklus, während ein Anfall von Abfällen weitgehend vermieden werden kann.

Es konnten nicht mehr verwertbare Alttextilien mittels eines langsamlaufenden Universalzerkleinerers aufbereitet werden. Dabei wurden die wichtigsten prozessspezifischen Kenndaten gewonnen, die ein Upscaling ermöglichen. Eine Analyse verschiedener Materialien zeigte, dass das Verhältnis hydrophobe / hydrophile Fasern zwischen 50 : 50 und 60 : 40 liegt. Weiters erfolgte eine Bestimmung der Fasermorphologie, die eine hohe Ähnlichkeit mit Fasern aus anderen Recyclingprozessen einerseits und, andererseits, bereits am Markt etablierten Faserprodukten aufweist. In einem weiteren Schritt konnte gezeigt werden, dass Abtrennung der Störstoffe mit am Markt befindlichen Aggregaten möglich ist. Neben der Faserfraktion werden geringe Anteile an Eisen-Metallen, Nicht-Eisen-Metallen, Grobmaterial (Kunststoffe, Holz, Steine, Glas, etc...) und Staub erhalten. Schlussendlich konnte gezeigt werden, dass die von den Störstoffen befreite Textilfraktion mit handelsüblichen, schnell laufenden Feinschneidmühlen zu einem Kurzfasерprodukt vermahlen werden kann. Durch Wahl der Mahlparameter, allen voran der Siebweite, kann ein Recyclingprodukt erhalten werden, dessen Faserlänge und – durchmesser mit Produkten übereinstimmt, die derzeit in der Bauindustrie eingesetzt werden. Aufgrund dieser Ähnlichkeit scheint es möglich zu sein, dass derzeit am Markt befindliche Faserprodukte, die aus Neumaterial hergestellt werden, substituiert werden können. Aufgrund der Tatsache, dass für die Entsorgung von Textilabfällen rund 150 €/t anfallen und vergleichbare Additive mit rund 250 €/t am Markt erhältlich sind, können nicht nur die Aufbereitungskosten getragen werden, sondern es ist auch möglich, einen Gewinn zu erzielen und somit die Wirtschaftlichkeit der ökologisch sinnvollen Altkleidersammlung deutlich zu verbessern.

## Abstract

In the course of the collection of end-of-life apparel a fraction of clothes, which cannot be as rewearables, remains and has to be disposed for high costs. The project aims to develop a mechanical process by which such waste materials can be processed into a recycling product to be used in building materials. The processing chain comprises a disintegration and a separation step in order to receive a textile / fibrous and a non-fibrous fraction. In a further step, a grinding process can achieve a well defined fiber length optimized for the intended final application. Possible applications are one hand the manufacture of textiles and nonwovens and, on the other hand, a use of short fibers in liquid or paste-like materials to increase viscosity. It was demonstrated that textile waste can successfully be processed by means of a low-speed single-shaft shredder. The most important process parameters could be obtained which allow a further up-scaling to an industrial scale. An analysis of the textile waste showed that the ratio of hydrophobic / hydrophilic fibers ranges between 50 : 50 and 60 : 40. Furthermore, a determination of the fiber morphology illustrate a high similarity with fibers from other recycling processes on the one hand, and, on the other hand, with fiber products already well established on the market. In a further step, it was shown that a removal of the impurities is possible using standard equipment available on the market. Thus, apart the textile fraction minor amounts of iron, non-iron metals, coarse material (plastics, wood, stone, glass, etc ...) and dust are obtained. Finally, it was shown that textile fraction, freed from the impurities, can be ground with conventional high-speed fine cutting mill to obtain a short fiber product. By selecting the grinding parameters, especially the mesh size, a recycled product can be obtained, which exhibits a similar fiber length and diameter compared to products that are currently used in the construction industry. Because of this similarity, it seems possible that fiber products made from virgin material can be substituted by the recycled fiber material. Due to the fact that for the disposal of textile waste around 150 €/t have to be paid and that similar additives are sold for about 250 €/t, it seems possible to compensate the processing costs and to realize a profit. Thus, the overall economic situation of apparel collectors can be significantly improved.

# 1. Einleitung

## 1.1 Rahmenbedingungen

Die Sammlung und Wiederverwertung von Alttextilien entspricht zumindest in Europa dem Stand der Technik. Vielfach werden diese Sammlungen von karitativen Organisationen durchgeführt. Diese getrennte Sammlung verringert das Volumen an Restmüll und die Wieder- bzw. Weiterverwendung der gesammelten Altkleider ist aus ökologischer Sicht sinnvoll. Allerdings kann nur ein Teil der gesammelten Altkleider als Second-Hand-Ware oder als Kleiderspende – gewinnbringend - verwendet werden. Schlussendlich müssen etwa 10 bis 25 % der gesammelten Altkleider einer Entsorgung zugeführt werden. In Österreich und Deutschland müssen diese Altkleider verbrannt werden. Damit erfolgt zwar eine energetische Nutzung (thermische Recycling), jedoch werden dadurch hohe Kosten verursacht.

In Österreich und den EU Ländern fallen beträchtliche Mengen an Altkleider an. In Abbildung 1 sind die Daten für Österreich (Domenig 2001) und Deutschland (Klatt 2001) hinsichtlich Alttextilien dargestellt. Aufgrund dieser Daten und der Bevölkerungszahlen wurde abgeschätzt, welche Mengen im gesamten Gebiet der EU-27 anfallen.

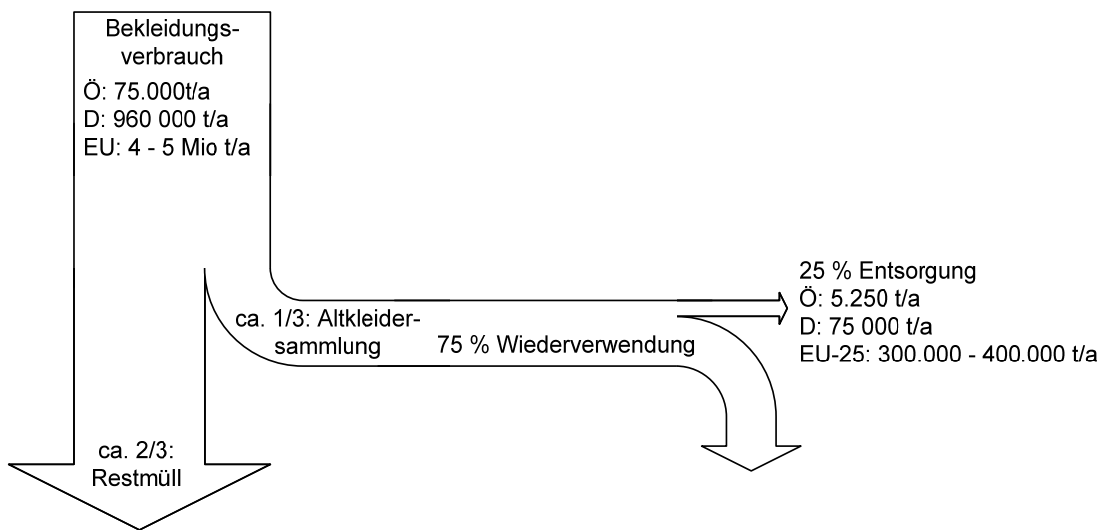


Abbildung 1: Stoffmengen von Altkleidern (Domenig 2001, Klatt 2001). Die Werte für EU-27 sind aufgrund der pro Kopf-Werte von Österreich und Deutschland geschätzt.

Aufgrund des Deponierungsverbotes für Abfälle mit mehr als 5 % TOC (total organic carbon, unter das natürlich auch Alttextilien fallen, das in einigen EU Ländern gilt (z.B.: Österreich, Deutschland), muss mit erheblichen Kosten für die Entsorgung der unbrauchbaren Alttextilien gerechnet werden. Nimmt man die Kosten, die der Projektpartner derzeit für die Entsorgung entrichten muss (135 - 180 €/t), als Richtwert, so ist für den gesamte EU-27 Raum kurzfristig mit jährlichen Entsorgungskosten in der Höhe von 40 bis 70 Mio € zu rechnen.

Weltweit werden vermehrt Alttextilien gesammelt und, vor allem für karitative Zwecke, wieder verwendet (Stockwell 1998, Groot 1998, Barella, 1997, Cupit, 1996). Diejenigen Alttextilien, die keiner weiteren Verwendung mehr zugeführt werden können, werden in den meisten Fällen deponiert bzw. verbrannt.

In der Literatur finden sich zwar einige Patente und Publikationen zu diesem Thema. Dabei kann zwischen verschiedenen Recyclingmethoden unterschieden werden (Lützkendorf 1994). Im Folgenden sind einige Methoden kurz erläutert:

Zum einen gibt es Recyclingmethoden, die auf chemische und biologische Verfahren zurückgreifen und eine rohstoffliche Wiederverwendung beabsichtigen. Dabei werden Faserabfälle, die aus vorzugsweise einem Fasermaterial bestehen, aber auch Mehrkomponentensysteme mit chemischen oder biologischen Methoden behandelt. Der Vorteil dieser Methoden liegt darin, dass spezielle Fasern aus einem Fasergemisch (Textilien) selektiv rezykliert, und wieder hochwertige Fasern (Filament) hergestellt werden können. So gibt es Patente zur Depolymerisation von Polyamidfasern (Yamada 1995) oder zum mikrobakterieller Abbau von Zellulosefasern (Huber 1995).

Allerdings verlangen diese Methoden einen hohen Einsatz von Chemikalien und Energie. Es fallen erhebliche Mengen Abwässer an. Da zumeist nur eine Fasertypen wieder verwendet wird, müssen anschließend wiederum relativ große Mengen Abfall entsorgt werden. Aufgrund dieser erheblichen Nachteile beschäftigt sich das gegenständliche Projekt mit rein mechanischen Methoden.

Zum anderen gibt es mechanische Methoden, bei denen keine weiteren Stoffe mehr eingesetzt werden müssen, wodurch keinerlei Abwässer oder zusätzlicher Abfall generiert werden. In der Literatur werden verschiedene Methoden beschrieben. Dabei ist vor allem das Recycling von besonders hochwertigen Fasern von Interesse, wie zum Beispiel Aramidfasern (Cerny 2003) oder Gore-Tex Bekleidung (Kiel 1998).

In einigen Patenten sind Maschinen und Anlage patentiert (Morel 1984, Laroch 1996, Rowe 2000), die zum Zerkleinern von Alttextilien geeignet sein sollen. Da in diesem Projekt auf kommerzielle Maschinen zurückgegriffen wird und zusätzlich keines der Patente mehr aufrecht ist, sind diese Patente für das zu entwickelnde Verfahren nicht relevant.

Literatur, die Recyclingprozesse von Alttextilien betrifft, ist ebenfalls bekannt. Dabei wird jedoch nicht auf die Problematik der Begleitstoffe (Knöpfe, Schnallen, etc.) eingegangen

(Elges 1996a, Laroche 1996, 1998, Nakamura 1999, Dell'Orco 2001, Chi 2003). Für spezielle Alttextilen (hoher Elastananteil) wird eine chemische Vorbehandlung zur besseren Desintegration beschrieben (Weiß-Quasdorf 2001). Zur Herstellung von Putzlappen erfolgt die Abtrennung der störenden Begleitstoffe in Handarbeit.

So vielfältig die Methoden der Aufbereitung sind, werden auch in der Literatur zahlreiche Anwendungen beschrieben, wie die Herstellung von Vliesmaterialien (Hönig 1993, Milding 1995), Gespinsten (Gsteu 1998), die Verwendung in Betonbaustoffen (Wu 1994, Wang 2000), Dämmstoffe (Elges 1996a), oder auch als Zusatz zu Kulturerden (Elges 1996b).

Aufgrund des relativ hohen Heizwertes (ca. 19MJ/kg) der Alttextilien wäre ein Einsatz als Ersatzbrennstoff in Zementwerken nahe liegend. Dies ist jedoch aufgrund des relativ hohen Chromgehaltes nicht möglich, da der Grenzwert von 300 ppm überschritten wird. Chrom dürfte wahrscheinlich im Leder, das in verschiedenen Bekleidungen verwendet wird, enthalten sein. Zum Gerben von Leder werden fast ausschließlich dreiwertige Chromsalze (zumeist Chromsulfat) verwendet. Dabei enthält das gegerbte Leder rund 20 g/kg dreiwertiges Chrom. Es ist anzunehmen, dass bei der Verbrennung das  $\text{Cr}^{3+}$  zu  $\text{Cr}^{6+}$  oxidiert wird.  $\text{Cr}^{6+}$  weist einen MAK Wert von 0,1 mg/m<sup>3</sup> (TRGS 900) auf und ist als krebserregend Kategorie 1 (TRGS 905) eingestuft. Eine Verbrennung kommt daher nur in Anlagen in Frage, die für diesen hohen Gehalt an Chrom geeignet sind.

## 1.2 Projektziele

Ziel des gegenständlichen Projektes war es, ein mechanisches Aufbereitungsverfahren zu entwickeln, mit dem Textilabfälle wirtschaftlich aufbereitet werden können. Dabei wurden ausschließlich mechanische Verfahrensschritte eingesetzt, um die derzeitige Abfallfraktion zu einem marktfähigen Produkt zu verwandeln. Ein Einsatz ist im Bereich Baustoffen wahrscheinlich, wo die faserförmigen Produkte die Viskosität von pastösen oder flüssigen Produkten erhöhen und/oder einen Armierungseffekt in der Matrix bewirken können.

## 2. Methoden

### 2.1 Chemische Analyse des Fasermaterials

Auch wenn die Produktionsvolumina der verschiedenen Fasertypen bekannt sind (CIRFS), so wurde eine Analysenmethode adaptiert, um die Zusammensetzung der Faserabfälle zu analysieren. Im Vergleich zur Gesamtfaserproduktion sind im Bereich der Textilindustrie durchaus andere Faseranteile zu erwarten. Dies ist im Hinblick auf die weitere Verwendung des Materials von Interesse. Die Methode beruht auf einer systematischen Verwendung unterschiedlicher Lösungsmittel (Abbildung 2), wodurch 11 Klassen an Fasertypen bestimmbar sind. Diese Methode ist im Vergleich zu physikalischen Analysemethoden (z.B.: Infrarot) arbeitsintensiv, verlangt jedoch kein aufwändiges Equipment. Die Prozedur wurde aus einigen Literaturstellen (AATCC 1977, Koch, 1964, Koch 1958, Koslowski 2000, Shao 2004) entnommen und durch eigene Versuchsserien adaptiert.

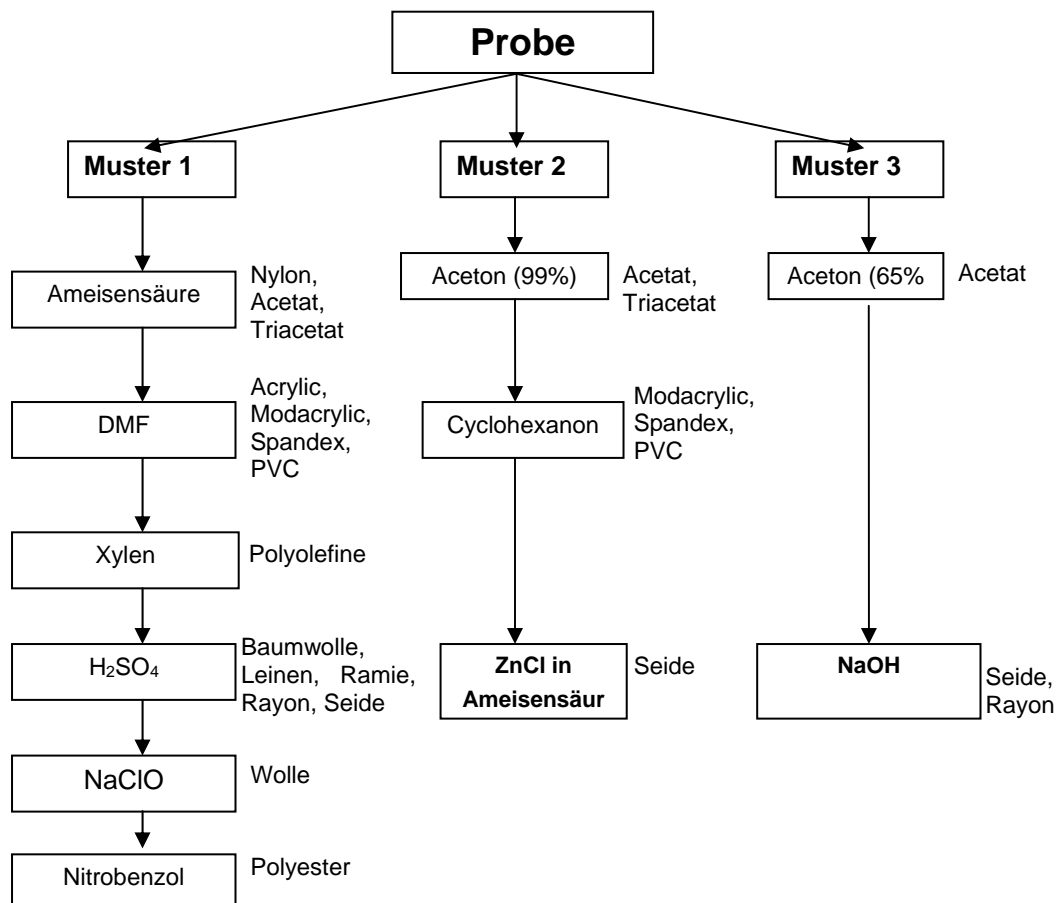


Abbildung 2: Schema für selektive Löseversuche zur Analyse der Faserzusammensetzung.

Zwecks Überprüfung der Analysenprozedur wurden an Bekleidungen bekannter Zusammensetzung (gemäß Kennzeichnung in den neuen Kleidungsstücken) die Faserzusammensetzung bestimmt. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, waren die gemessenen Werte in guter Übereinstimmung mit den Angaben auf dem Etikett. Die größten Abweichungen lagen bei 4 %. Dies ist für die Aufgabenstellung ausreichend.

Tabelle 1: Faserzusammensetzung der Referenzproben gemäß der Kennzeichnung in den Kleidungsstücken und der mittels Löseversuchen ermittelten Daten.

Lösungsmittel	Fasertyp	Anteil in Massen %	
		laut Etikett [%]	laut Löseversuche
Ameisensäure	Polyamid	88	84
	Elastan	12	16
Ameisensäure	Polyamid	90	92,5
	Elastan	10	7,5
DMF	Elastan	10	8
	Polyamid	90	92
Schwefelsäure	Baumwolle	60	58
	Polyester	40	42

## 2.2 Desintegration der textilen Abfälle

Für die Abtrennung der Störstoffe ist eine Zerkleinerung unumgänglich, wofür langsamlaufende Universalzerkleinerungsmaschinen gut geeignet erscheinen. Ziel der Desintegration ist es, die Altbekleidungen zu zerkleinern und so die Abtrennung von Störstoffen zu ermöglichen. Auch wenn der Markt eine Reihe von Aggregaten, die in der Abfallwirtschaft eingesetzt werden, anbietet, so werden noch immer Lösungen für Alttextilien weiter entwickelt (z.B.: Pinto 2008, Reed 2009)

Konkret sollen folgende Prozessdaten ermittelt werden:

- Maschinenparameter (z.B.: Maschinentyp, Drehzahl, Siebeinsatz, etc.);
- Charakteristik des Ausgangsmaterials („normale“ Altkleider, Spezialfraktionen);
- Durchsatz bzw. spezifischer Leistungsbedarf in Abhängigkeit von Ausgangsmaterial und der erreichten Feinheit;
- Abschätzung von Verschleiß (Messer);
- Ermittlung des Gefahrenpotentials zur Entstehung von Bränden oder Staubexpositionen;
- Staub- und Lärmbelastung;

Alternativ zu einer Mahlung, können auch Langfasern hergestellt werden, wozu sich die Verwendung eines Reißwolfes anbietet. Unter Reißwolf ist ein Aggregat zu verstehen, das zum Zerfasern von textilen Abfällen zwecks Wiederverwendung der Fasern geeignet ist. Im Vergleich zur Schneidmühle werden dabei die Fasern wesentlich weniger stark gekürzt.

Primär erfolgen lediglich eine Zerstörung des textilen Gewebes und eine Vereinzelung der Fasern.

Für die Verwendung des Reißwolfes dürfen die Alttextilien nicht allzu stark vorzerkleinert werden, da sonst die Faserlängen zu kurz sein könnte.

Die so gewonnen Fasern können gegebenenfalls kardiert und versponnen werden und stehen so eventuell für textile Anwendungen zur Verfügung. Aufgrund der anzunehmenden wechselnden Faserzusammensetzung und den starken vorangegangenen mechanischen Beanspruchungen der Fasern, sind hochwertige textile Anwendungen nicht wahrscheinlich. Es sind jedoch weniger hochwertige Märkte, wie Matten, Filze oder Dämmstoffe zugänglich, in denen die aufbereiteten Alttextilien einen Einsatz finden können.

### 2.3 Abtrennung der Störstoffe

Nach der vorangegangenen Desintegration der Alttextilien können nunmehr die nicht-textilen Komponenten abgetrennt werden. Dazu ist zum einen ein Magnetabscheider geeignet, der Komponenten aus Eisenwerkstoffen entfernen kann.

Für den eigentlichen Verfahrensschritt Trennen kommt aerodynamisches Sichten in Frage. Es können verschiedene Bauarten von Windsichtern eingesetzt werden. Durch die große Differenz der Dichten und/oder der signifikant unterschiedlichen Form und Größe der Partikel kann von einer relativ einfachen Trennung ausgegangen werden. Alle metallischen Komponenten und Kunststoffe (nicht in Faserform) sind in der Grobfraction enthalten. Die Leichtfraktion enthält die Faserfraktion, sowie feine Reste wie Leder, Folien und eventuell Daunen.

Für die gegenständliche Trennung scheint ein Zick Zack Sichter geeignet, wie in Abbildung 3 skizziert. Im Vergleich zu einem Abweiseradsichter ist ein Zick Zack Sichter deutlich preisgünstiger und für die relativ groben Fraktionen (Stofffetzen) wesentlich besser geeignet.

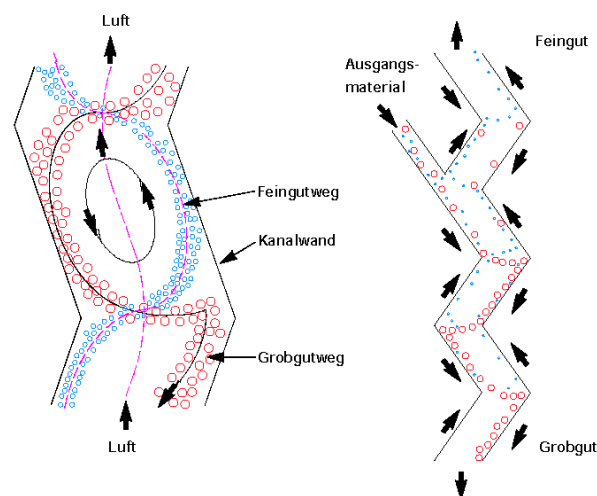


Abbildung 3: Prinzipschema eines Zick Zack Sichters (www.bueckmann.com)



## 2.4 Mahlung

Für einen Schneidmahlprozess muss sicher gestellt sein, dass eine möglichst hohe Abtrennung von harten und/oder metallischen Reststoffen bereits erfolgt ist. Eventuell vorhandene größere Reste erhöhen deutlich den Verschleiß (Schneidmesser) und können eventuell auch zu Maschinenschäden oder Funkenbildung und in weiterer Folge zu Bränden führen.

Beim Schneidmahlprozess erfolgen eine Einkürzung der Fasern sowie eine Homogenisierung der Faserlänge. Üblicherweise wird lediglich die Faserlänge verringert, nicht jedoch der Faserdurchmesser. Ein Spleißen ist bei den zu erwartenden Fasermaterialien nicht zu erwarten.

Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Parameter, die den Schneidmahlprozess bestimmen. Im Rahmen der Versuche werden diese Parameter, soweit möglich, an die spezifischen Eigenschaften der unterschiedlichen Vormaterialien (nach Desintegration und Trennung) angepasst.

Nach Festlegung der groben Prozessparameter erfolgt die Herstellung von Mustermaterialien für anschließende Anwendungsversuche. Dabei müssen Fraktionen mit unterschiedlichen Eigenschaften (z.B.: Faserlänge) in ausreichender Menge hergestellt werden. Eventuell kann im Anschluss an die Schneidmahlung noch ein weiterer Prozessschritt (z.B.: Sieben) erfolgen, um die Materialeigenschaften gezielt auf die jeweiligen Anwendungen abzustimmen.

Tabelle 2: Wichtige Prozessparameter bei der Schneidmahlung.

Parameter	Bemerkung
Siebweite	Limitiert maximale Korngröße; längere Fasern können passieren;
Anzahl der Messer	Rotormesser und Statormesser; je höher die Anzahl der Messer, desto gleichmäßiger ist die Faserlänge;
Drehzahl	Eine höhere Drehzahl erhöht die Schneidintensität;
Mahlspalt	Spalt zwischen Rotor- und Statormesser; je geringer der Mahlspalt, desto feiner (kürzer) kann gemahlen werden;
Schneidintensität	Funktion aus Messeranzahl und Drehzahl;
Luftdurchsatz	Luftdurchsatz ist notwendig, um Mahlgut aus dem Mahlraum auszutragen; hoher Luftdurchsatz verringert Verweilzeit in Mahlraum;
Motorleistung	Durchsatz;
Geometrie des Schneidaggregates	Beeinflusst Verweilzeit im Mahlraum;
Durchmesser Rotor	Durchsatz, Werkzeuggeschwindigkeit;
Breite Rotor (Messer)	Durchsatz;

Durch Verwendung einer Schneidmühle werden die Alttextilien vollständig in Einzelfasern zerlegt. Die Faserlänge wird dabei stark reduziert und liegt im Bereich von einigen mm bis zu deutlich unter 1 mm.

Es muss untersucht werden, ob die desintegrierten und von Nicht-Textilkomponenten befreiten Alttextilien direkt mit einer Schneidmühle verarbeitbar sind. Generell müssen die Alttextilien für die Schneidmühle möglichst stark vorzerkleinert werden.

Durch die Wahl der Mahlparameter kann die mittlere Faserlänge im gewünschten Bereich beeinflusst werden. Das derart aufbereitete Material eignet sich zur Kurzfaserverstärkung von Kunststoffen sowie verschiedener Baustoffe auf Basis Zement, Beton, Gips oder Bitumen. Die Kurzfasern bewirken nicht nur einen Armierungseffekt, sondern bedingt durch die große Oberfläche auch einen Thixotropieeffekt. Eine Verwendung ist somit in jenen Bereichen sinnvoll, in denen eine Beeinflussung (Erhöhung) der Viskosität erwünscht ist. Beispielhaft dafür sind Kleber und Lacke.

## 2.5 Morphologische Charakterisierung des Fasermaterials

Ein entscheidender Punkt zur Beschreibung von Recyclingfasern und auch deren Herstellprozess stellt eine morphologische Charakterisierung von Kurzfasern dar. Messgeräte, wie sie zur Partikelcharakterisierung weit verbreitet sind, können für Kurzfasern nicht eingesetzt werden. Ein Gerät, das zur Charakterisierung von Zellstoff entwickelt wurde (Tourtollet 2001, Passas 2001) kann auch zur Bestimmung von Länge und Durchmesser von Rezyklatfasern verwendet werden (Bartl 2009).

Die Faseranalytik muss sich nach der Faserlänge richten. Im Falle, dass die Alttextilien mit einem Reißwolf aufbereitet werden, kann man mit Faserlängen über einigen mm rechnen, die mittels textilen Charakterisierungsmethoden zugänglich sind. Sind die Fasern allerdings zu kurz (Schneidmühle), muss eher auf Verfahren der Partikeltechnologie zurückgegriffen werden. Tabelle 3 gibt einen Überblick der Charakterisierungsmethoden.

Tabelle 3: Einige Charakterisierungsmöglichkeiten von Fasern in Abhängigkeit deren Länge.

Kurzfasern (Schneidmühle)	Langfasern (Reißwolf)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• optische Bildauswertung (MORFI)</li> <li>• Mikroskop</li> <li>• Analysensieb</li> <li>• Luftstrahlsieb</li> <li>• Laserbeugung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Titerbestimmung</li> <li>• Längenbestimmung</li> </ul>

## **2.6 Wasserrückhaltevermögen**

Das Wasserrückhaltevermögen (WRV) kann für die Bewertung des Sorptionsverhaltens von Fasern verwendet werden. Es zeigt die Tendenz von Materialien hinsichtlich hydrophilen bzw. hydrophoben Eigenschaften. Eine genormte Prüfung erfolgt vorzugsweise gemäß der DIN 53814. Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Tests wurden gemäß dieser Norm durchgeführt.

Das Wasserrückhaltevermögen stellt eine wichtige Eigenschaft im Hinblick auf die Anwendung der Kurzfasern dar. So kann etwa eine hohe Hydrophilie Probleme bei der Frost-Tau Beständigkeit von Betonwerkstoffen verursachen.

### 3. Ergebnisse des Projektes

#### 3.1 Faserzusammensetzung

Die Faserzusammensetzung der Alttextilien wurde bestimmt. Es wurden im Zuge einer Zerkleinerung drei Proben gezogen und analysiert. Die Resultate sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Es ist zu beachten, dass in den Proben eventuell Stoffe aus Abfällen enthalten sind, die zuvor auf dem Aggregat aufbereitet wurden.

Es zeigt sich, dass Baumwolle in allen Fällen den höchsten Anteil ausmacht. Einen im Vergleich zu den Produktionszahlen relativ geringen Prozentsatz weist Polyester auf. Unerwartet hoch ist der Gehalt an Seide und Wolle, die deutlich über den anteiligen Produktionszahlen liegen. Der unlösliche Anteil, der zwischen 4 und 7 % liegt, kann durch Textiladditive, Kalkablagerungen (vor allem in Baumwolle), Knöpfe und Zipps oder auch die die eingeschleppten Verunreinigungen verursacht sein.

Tabelle 4: Faserzusammensetzung der der Probe aus den Zerkleinerungsversuche bei ASA; Werte in Massen %.

	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Mittelwert
Nylon	1,2	6,0	4,6	3,9
Acetat	5,2	4,4	6,8	5,5
Triacetat	0,4	0,0	0,0	0,1
Acryl	4,8	2,6	2,5	3,3
Spandex	9,7	4,4	2,4	5,5
Polyolefin	7,2	5,9	5,2	6,1
Baumwolle	26,8	32,8	25,3	28,3
Viskose	7,9	5,9	17,0	10,3
Seide	4,9	6,6	11,5	7,7
Wolle	4,3	12,7	14,3	10,4
Polyester	23,2	11,3	5,0	13,2
Summe	95,6	92,6	94,6	94,3
Unlösliche Anteile	4,4	7,4	5,4	5,7

In gleicher Weise wurden drei weitere Proben analysiert. Die Resultate sind in Tabelle 5 ersichtlich. Wiederum zeigt sich, dass Baumwolle den höchsten Prozentsatz aufweist. Erneut deutlich niedriger als erwartet liegt Polyester, das im gleichen Bereich wie Wolle und Seide liegt.

Die Analysen zeigen, dass die in den Alttextilien gefundenen Faseranteile deutlich von den Produktionsanteilen der einzelnen Fasertypen abweichen. Die mit Abstand wichtigste Faser ist Polyester, deren Anteil an der Gesamtfaserproduktion bei 43 % liegt (CIRFS 2008), die gefundenen Werte jedoch nur um 10 %. Eine einigermaßen gute Übereinstimmung findet sich bei Baumwolle, deren Anteil an der Weltfaserproduktion bei 36 % liegt. Auch wenn nicht davon auszugehen ist, dass die Faseranteile für Bekleidungen ident mit den Produktionszahlen sind, zumal für industrielle Anwendungen ein anderes Anforderungsprofil

gestellt wird, ist der Anteil an Wolle (gefunden: 5 bis 15 %; Produktionsanteil: 1,7 %) und besonders Seide (gefunden: 5 bis 12 %; Produktionsanteil: < 0,1 %) relativ hoch.

Tabelle 5: Faserzusammensetzung der der Proben aus den Zerkleinerungsversuchen; Werte in Massen %.

	Heimtextilien	Retourware Shop	Abfall
Nylon (PA)	4,8	2,6	3,4
Acetat (CA)	5,6	4,7	3,7
Triacetat (CTA)	1,0	2,9	0,9
Acryl (PAN)	7,2	9,5	8,9
Spandex (EL)	5,2	2,9	2,2
Polyolefin (PP/PE)	6,2	3,6	6,1
Baumwolle (CO)	27,4	27,1	46,4
Viskose (CV)	3,6	2,5	0,0
Seide (SE)	13,4	14,1	9,0
Wolle (WO)	10,0	12,9	5,6
Polyester (PET)	9,6	11,4	8,9
Summe	94,0	94,2	95,0
Unlösliche Anteile	6,0	5,8	5,0

Für eine weitere Verwendung von Rezyklatfasern stellt die Herkunft der Faser einen entscheidenden Parameter dar. So weisen zellulose Fasern und Naturfasern hydrophiles Verhalten auf, während Fasern aus synthetischen Polymeren hydrophob sind. Dies beeinflusst maßgeblich wichtige Eigenschaften im jeweiligen Anwendungsgebiet, wie etwa Frost-Tau-Beständigkeit, Trocknungsverhalten oder Wasseraufnahmevermögen. Abbildung 4 zeigt, dass der Anteil an hydrophoben (aus synthetischen Polymeren) Fasern zwischen 50 und 60 % liegt. Der Rest besteht aus Zellulose basierten Fasern.

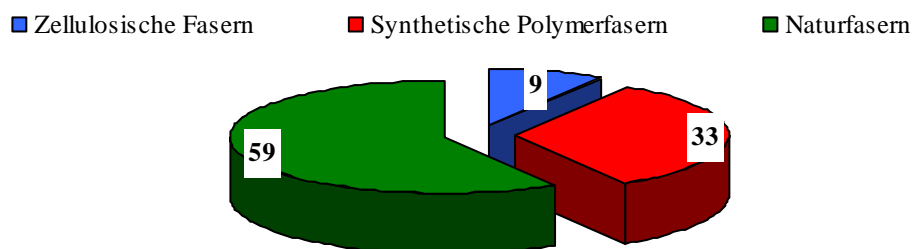


Abbildung 4: Anteile der Faserkategorien synthetische Polymerfasern (PA, PAN, EL, PP, PE, PET), zellulose Fasern (CA, CTA, CV) und Naturfasern (CO, WO, SE) aus den Resultaten der Proben (Mittelwerte).

### 3.2 Fasermorphologie

Die gemahlenen Fasern wurden mittels dem Morfi-Faseranalysator hinsichtlich Faserlänge und Faserdurchmesser analysiert. Abbildung 5 zeigt die Verteilungsdichten für Länge und Durchmesser der aufbereiteten Proben im Vergleich mit Arbocel. Es zeigt sich, dass die Faserlänge der Rezyklatfasern de facto ident mit dem kommerziellen Vergleichsprodukt Arbocel sind. In Bezug auf den Faserdurchmesser zeigt sich eine enge Verteilung bei den Proben aus den Alttextilen, während Arbocel eine sehr breite Verteilung aufweist.

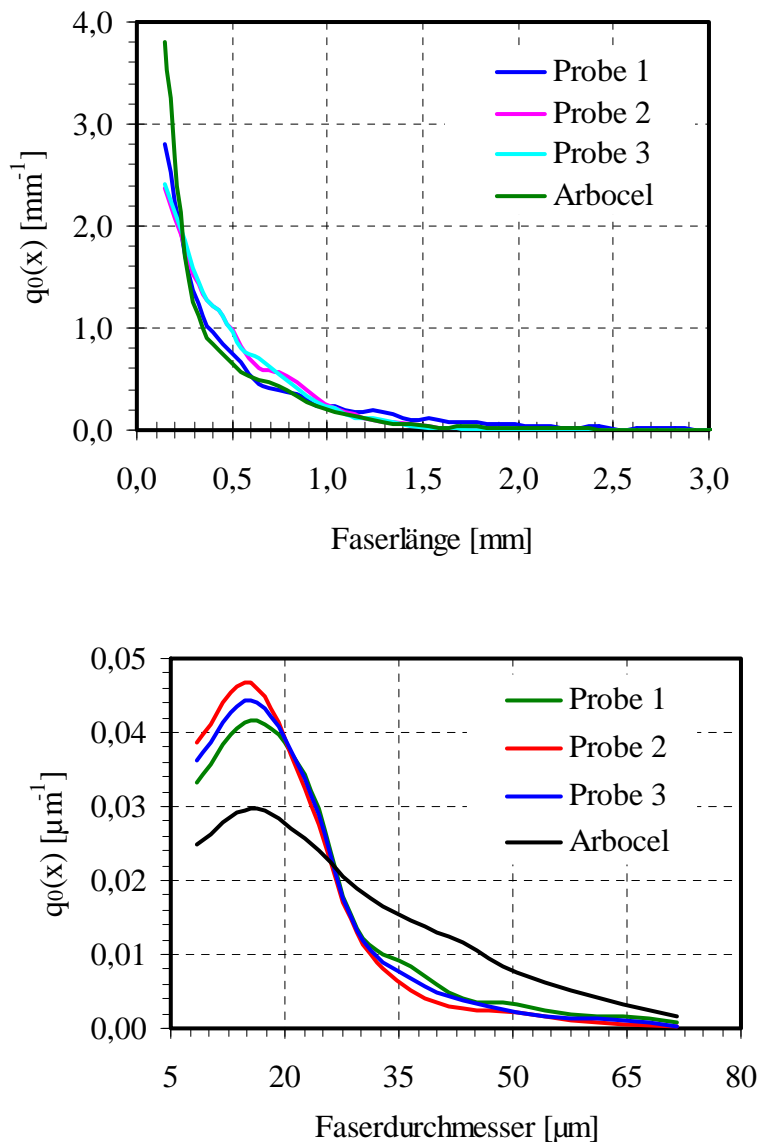


Abbildung 5: Verteilungsfunktion von Faserlänge (oben) und Faserdurchmesser (unten) der bei ASA aufbereiteten Probe; Mahlung mit 20/12 Ro, Siebeinsatz: 0,5 mm Rundloch.

Die breite Verteilung des Faserdurchmessers bei Arbocele entspricht dem nativen Charakter des Produkts, es handelt sich um gemahlene Zellstoff. Die Fasern aus Altbekleidungen bestehen zu einem Gutteil aus Chemiefasern (synthetische oder natürliche Polymere) und nur zu einem geringen Anteil an Naturfasern. Doch auch Baumwollen, Seide und Wolle weisen eine deutlich engere Verteilung der Faserdicke als nativer Zellstoff auf.

Bei den Messungen der Faserlänge zeigt sich, dass die kleinste Größenklasse (100 bis 199  $\mu\text{m}$ ) die höchste Population aufweist, wenn mit dem maximalen Längenbereich des Faseranalysators gearbeitet wird. Das Gerät verfügt über 100 Klassen für die Faserlänge, die sich über den Messbereich von 0,1 bis 10 mm erstrecken und somit eine Klassenbreite von 99  $\mu\text{m}$  ergeben. Da die Fasern sehr kurz sind (de facto keine Fasern über 1,5 mm), wurde der Messbereich sukzessive auf schließlich 0,1 bis 2,0 mm verringert. Damit verringerte sich die Klassenbreite auf 19  $\mu\text{m}$ . Wie in Abbildung 6 ersichtlich, verändert sich der Kurvenverlauf im Falle einer Klassenbreite von 19  $\mu\text{m}$  der Verteilungsdichte über 0,15 mm nicht, auch wenn bei einer geringen Klassenbreite eine wellige Kurve erhalten wird. Ein deutlich anderes Bild ergibt sich jedoch im Bereich zwischen 0,10 und 0,15 mm. Das Maximum liegt nunmehr in der Klasse 138 bis 157  $\mu\text{m}$  und zeigt somit, dass der Anteil an Fasern unter 100  $\mu\text{m}$  (unterer Messbereich) gering ist. In weiterer Folge wurde generell die Klassenbreite variiert, um eine bessere Auflösung bei geringen Faserlängen zu erhalten.

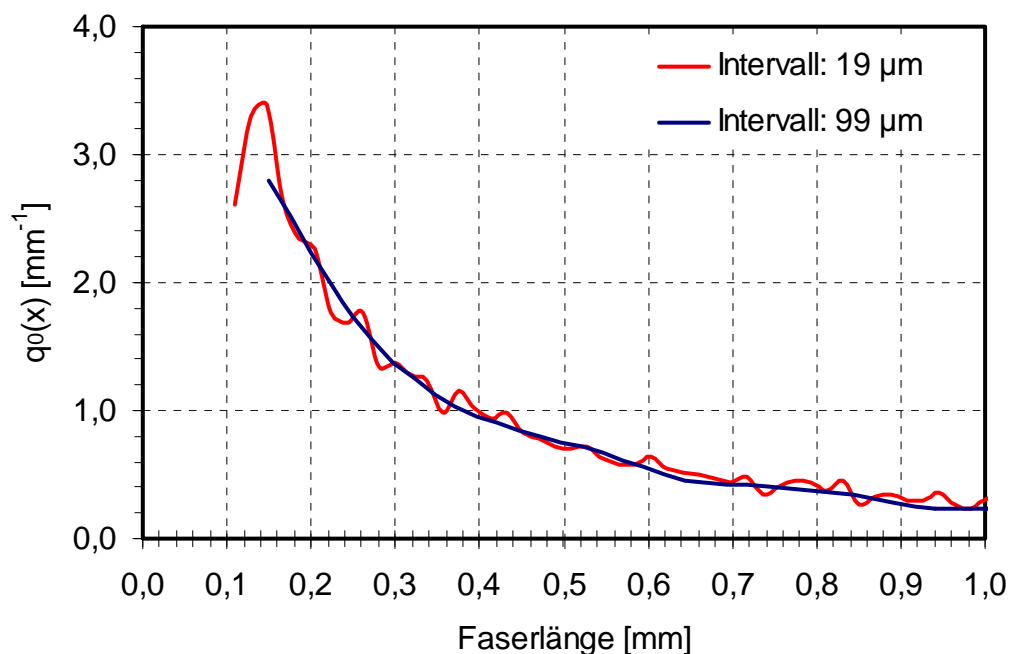


Abbildung 6: Faserlängenverteilung von gemahlene Alttextilien (Lindner Second-hand shop) mit Messintervall von 19 bzw. 99  $\mu\text{m}$ .

Die aufbereiteten Proben wurden ebenfalls nach einer Mahlung mit dem Morfi charakterisiert. Die Verteilungsdichten für Länge und Durchmesser sind in Abbildung 7 dargestellt. Wiederum ist die Länge sehr niedrig, liegt unter 1,5 mm und de facto gleich wie bei den anderen Proben und Arbocel. Auch hinsichtlich des Faserdurchmessers unterscheiden sich die Proben nicht. Es liegt eine relativ enge Verteilung vor. Die Lindner Proben aus verschiedener Provenienz (Second-hand shop, Heimtextilien und Abfalltextilien) zeigen alle die gleiche Dickenverteilung, obwohl zu erwarten ist, dass für Bekleidung und Heimtextilien durchaus unterschiedliche Faserqualität zum Einsatz kommen.

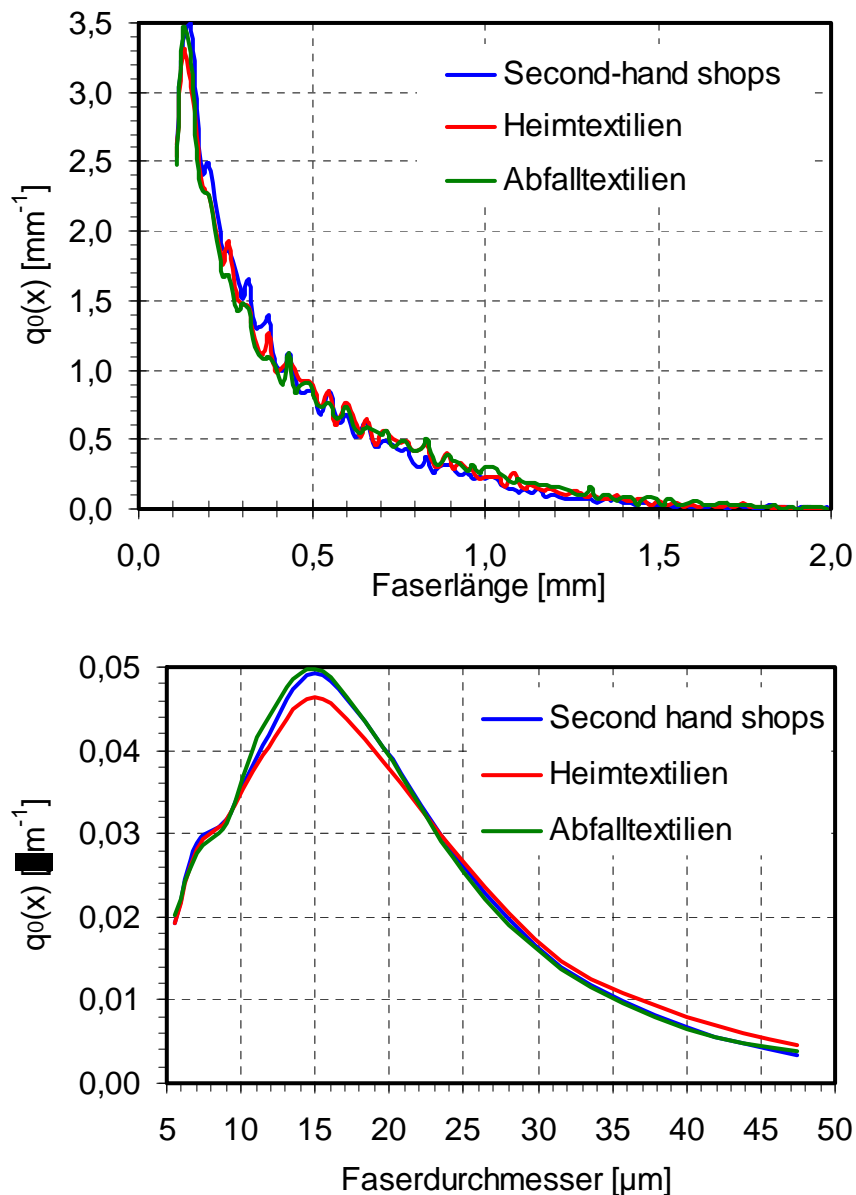


Abbildung 7: Verteilungsfunktion von Faserlänge (oben) und Faserdurchmesser (unten) der bei Lindner aufbereiteten Probe; Mahlung mit 20/12 Ro, Siebeinsatz: 0,5 mm Rundloch.



Die Bestimmung von Faserdurchmesser und –länge zeigt, dass eine Schneidmühle geeignet ist, Fasern aus Alttextilien derart zu kürzen, dass diese nicht mehr agglomerieren und somit für eine Vielzahl von Anwendungen zur Verfügung stehen. Neben der Bestimmung der Scale-up Parameter werden dann auch Parameter bestimmt, die die Faserlänge beeinflussen (primär Lochdurchmesser Siebeinsatz).

Der Faserdurchmesser ist relativ eng verteilt, unabhängig welche Alttextilien als Ausgangsmaterial eingesetzt wurden. Das Produkt entspricht weitgehend der Charakteristik von Rezyklatfasern aus Altreifen und ist gemahlenem Zellstoff überlegen.

### 3.3 Wasserrückhaltevermögen

Die Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens (WRV) erfolgte gemäß der DIN 53814. Fasern, die ein Wasserrückhaltevermögen (WRV) unter 20 % aufweisen, gelten als hydrophob, während Fasern mit einem Wasserrückhaltevermögen (WRV) von über 35 % als hydrophil gelten. Fasern mit Werten zwischen diesen Werten liegen im Grenzbereich und weisen somit kein ausgesprochen hydrophiles bzw. hydrophobes Verhalten auf. Tabelle 6 gibt einige Beispiele von Fasern der eben erörterten Typen.

Tabelle 6: Beispiele von hydrophoben und hydrophilen Fasern sowie deren Wasserrückhaltevermögen (WRV) gemäß DIN 53 814.

Hydrophobe Fasern		Grenzbereich		Hydrophile Fasern	
Faser	WRV [%]	Faser	WRV [%]	Faser	WRV [%]
PA6, PA6.6	9 - 15	CA	20 - 28	CO	45 - 50
PET	3 - 5	PVA	25 - 35	CV	82 - 120
EL	7 - 11			WO	40 - 45
PP, PE	0			SE	40 - 50
PAN	4 - 12			Leinen	50 – 55
CTA	10 – 18				

Neben der experimentellen Bestimmung des WRV gemäß DIN 53814 wurde der entsprechende Wert auch berechnet. Dazu wurde die Literaturdaten des WRV (siehe Tabelle 6) und die Resultate der Faseranalyse herangezogen.

Tabelle 7 vergleicht die Resultate der experimentellen Bestimmung des WRV mit den theoretisch berechneten Werten. Es zeigt sich, dass, einerseits zwischen den drei untersuchten Proben (Heimtextilien, Retourware Shop, Abfall) und, andererseits, zwischen beiden Methoden, kein signifikanter Unterschied besteht. In allen Fällen liegt der Wert zwischen 35 und 40 %. Dies liegt im Grenzbereich bzw. an der unteren Grenze der hydrophilen Fasern.

Tabelle 7: Beispiele von hydrophoben und hydrophilen Fasern sowie deren Wasserrückhaltevermögen (WRV) gemäß DIN 53 814.

	Experimentell	WRV [%] Berechnet	Differenz
Heimtextilien	36	37	1
Retourware Shop	35	37	2
Abfall	36	40	4

## 4. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Das Projekt kann innerhalb des Themenkataloges der Fabrik der Zukunft der Themenstellung „Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen“ zugeordnet werden. Die Reichweite des Projektes geht jedoch auch über den Bereich Altkleider hinaus. So muss sicherlich die Aufbereitung der Altkleider speziell auf die Eigenschaften dieses Abfalls angepasst werden. Die möglichen Anwendungen in verschiedenen Baustoffen könnten jedoch auch mit Fasern aus anderen Quellen erfolgen. Wie in Tabelle 8 zusammengestellt, könnten weitere faserhältige Abfälle in ähnlicher Weise wie die Altkleider behandelt werden, um so Recyclingfasern zu gewinnen.

Tabelle 8: Mögliche Abfallquellen, aus denen Recyclingfasern gewonnen werden könnten.

Abfallart	Bemerkung
Produktionsabfälle	Fallen im Zuge der textilen Verarbeitungskette (z.B.: Spinnen, Weben, Färben, Ausrüsten, Konfektionieren, etc.) an; meist sortenrein; meist keine Verunreinigungen durch Fremdstoffe;
Altreifen	Flusenfraktion (neben Gummi- und Stahlfraktion) fällt im Zuge des Recyclings von Altreifen an; enthält Gummianteile (Geruch und Farbe können eventuell stören); konstante Faserzusammensetzung;
Shredderleichtfraktion	Fraktion aus Shredderbetrieben (hauptsächlich Kraftfahrzeuge und Weißware); relativ geringer Faseranteil, komplexe Mischung aus unterschiedlichen, zumeist organischen, Materialien
Teppiche	Enthalten hauptsächlich Fasern aus Polypropylen und Polyamid; Begleitstoffe: Schaum (Styren-Butadien-Styren) und anorganische Stoffe

Der primäre Nutzen für die Zielgruppen muss sich in einer deutlichen Kostenreduktion durch Verwendung von Recyclingfasern im Vergleich zur Neuware ergeben. Da in erster Linie eine (teilweise) Substituierung bestehender Produkte angestrebt wird, sind beim Kunden auch keine nennenswerten Kosten für eine Anwendung zu erwarten. Es war daher Ziel des Projektes die Recyclingfasern derart aufzubereiten, dass diese in gleicher Weise wie Neuware eingesetzt werden können.

Als weiteres, jedoch untergeordnetes Ziel, stellte eine Verbesserung der Produkteigenschaften durch den Einsatz von Recyclingfasern dar. Damit sollen potentielle Kunden angesprochen werden, die bislang noch keine fasrigen Additive verwenden. Ein Absatz der aufbereiteten Altkleider in diese Märkte erscheint jedoch schwieriger, da wahrscheinlich beim Kunden (teure) Anlagenadaptierungen nötig sind.

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Recycling der Faserfraktion und der mechanischen Aufbereitung von Altreifen, konnte durch eine intensive Bearbeitung des Marktes ein großes Marktpotential erkannt werden. Aufgrund einer ähnlichen Materialbeschaffenheit (Kurzfasern

mit mehr oder weniger Verunreinigungen) kann ein ähnlicher Markt für Recyclingfasern aus Altkleidern erwartet werden.

Für die technische und betriebswirtschaftliche Umsetzung erscheint es erforderlich, den erarbeiteten verfahrenstechnischen Prozessablauf mit verfügbaren Apparaten, Anlagen und Gerätschaften gleichsam als Prototypen aufzubauen und als produzierende Pilotanlage zu betreiben. Es gilt zunächst einmal, das Verfahren im Pilotanlagenmaßstab zu realisieren, den Markt mit dem aufbereiteten dosierbaren und rieselfähigen Fasermaterial zu bemustern und entsprechende Abnehmersektoren aufzubauen. Das heißt, dass der erste Kommerzialisierungsschritt den Nachweis erbringen muss, dass anstelle von Entsorgungskosten von ca. € 100 bis 280,--/t eben Erlöse von € 150 bis 200,--/t realisierbar sind. Daraus folgt, dass der kommerzielle Nutzen des Verfahrens in erster Linie über das verkaufte aufbereitete Faserprodukt erzielt wird.

## 5. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Projektergebnisse zeigen, dass es möglich ist, Abfalltextilien zu einem Kurzfasertextilprodukt aufzubereiten. Dabei sind drei Verarbeitungsschritte notwendig:

1. Desintegration bzw. Vorzerkleinerung: Dieser Schritt ist mit handelsüblichen Aggregaten möglich.
2. Trennung: Es konnte gefunden werden, dass man mit handelsüblichen Trennapparaten zu ausgezeichneten Resultaten kommt. Dabei ist eine Abtrennung von Eisen- und Nicht-Eisenmetallen sowie einer Grobfraktion, die primär Kunststoffen, Steine und Glas enthält, möglich.
3. Feinmahlung: Eine Feinschneidmühle ist ausgezeichnet für die Herstellung eines Kurzfasertextilproduktes geeignet. Durch Wahl des Siebeinsatzes kann die gewünschte Faserlänge, die für eine bestimmte Anwendung erforderlich ist, eingestellt werden.

## 6. Ausblick und Empfehlungen

Die Entwicklung von Anwendungen des Kurzfasersproduktes war in einem zweiten Projektteil geplant, der jedoch nicht durchgeführt werden kann. Zum einen konnte das Projekt in dieser Projektlinie nicht verlängert werden, zum anderen steht nach dem Konkurs der Fa. UEG auch kein potentieller Betreiber im Projektteam zur Verfügung.

Tabelle 9 zeigt einige Beispiele von Baustoffen, in denen bereits heute Fasern eingesetzt werden, und die sich somit als potentielle Märkte für das Kurzfaser-Recyclingprodukt eignen.

Tabelle 9: Beispiele von Materialien, die sich als Endanwendung für das Kurzfaser-Recyclingprodukt eignen.

Matrixmaterial	Beispiele
Bitumen	Asphalt, Dachbahnen, ...
Beton	Fundamentplatten, Industrieböden, ...
Zement	Zementfaserplatte, ...
Mörtel und Putze	Mauermörtel, Putzmörtel, Estrichmörtel, Fliesenkleber, ...
Lacke	Bitumenlack, ...
Gips	Gipsfaserplatte, Gipskartonplatte, ...
Thermoplast	Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polyamide (PA), Polylactat (PLA), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC), Polyethylenterephthalat (PET), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polyetherketon (PEEK) und Polyvinylchlorid (PVC), ...
Duroplaste	Phenolformaldehydharze, Melamin-/Melamin-Phenolharze, Harnstoffharze, ungesättigten Polyesterharze, Epoxidharze, Silikonharze, ...
Elastomere	Naturgummi, Santoprene, Styrol-Blockcopolymer, ...

## 7. Literatur

AATCC Technical Manual (1977), American Association of Textile Chemists and Colorists, Vol. 53, USA.

A. Barella, A.M. Manich, "Aspectos generales del Reciclado de las fibras textiles" Revista de Quimica Textil 135, 81-100, 1997

A. Bartl, D. Pico, Characterization of Short Fibers, Chemical Engineering Transactions, 17, 741 – 746, 2009

M. Cerny, „Methode der Produktion der Textilien aus Aramidfasern“, Europäisches Patent EP1378595, 2003

CIRFS (2008), International Rayon and Synthetic Fibre Committee, Information on Man-Made Fibres, Bruxelles, 44th vol.

M. Cupit, „Opportunities and Barriers to Textile Recycling“, AEAT Report Nr. 0113, AEA Technology plc, Oxfordshire, UK, 1996

H. de Groot, A. Luitken, „Research Areas for Upgrading Textile Recycling“, Proc. Conf. Ecotextile 98 – Sustainable Development, 159-164, April 7-8, 1998

S. Dell’Orco, F. Levy, A. Thannheiser, “A FULLY AUTOMATED TEXTILE WASTE PROCESSING SYSTEM AND METHOD FOR THE PURPOSE OF OPENING, CLEANING, AND BIT ELIMINATION“ PCT Patent WO0131096, 2001

M. Domenig, „Nicht gefährliche Abfälle in Österreich“, Monographie Band 140, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2001

W. Elges (a), „Verfahren zum Recyclen von Textilfaserprodukten und Herstellung von Dämmwolle zur Wärmedämmung an Dächern und Fassaden mittels Blasversatzverfahren“, Deutsches Patent DE4436337, 1996

W. Elges (b), „Verfahren zum Recyclen von Naturtextilfaserprodukten und zur Herstellung von Speichertextilstreu als Ersatzstoff für Ton zur Wasser- und Nährstoffspeicherung in Kulturerden“, Deutsches Patent DE4432613, 1996

M. Gsteu, „Recycling von Textilien Abfällen nach dem DREF 2 Friktionsspinnverfahren“, DWI Reports 121, 81-92, 1998

C.H. Chi, D.M. Fischer, L.J. Prickett, “PROCESS FOR RECYCLING ARTICLES CONTAINING HIGH-PERFORMANCE FIBER”, US Patent US2003/0101555, 2003

H. Hönig, „Möglichkeiten der Verarbeitung textiler Abfallstoffe“, Textil Praxis International, 105-108, 1993

B. Huber, „Verfahren zur Verwertung von Reststoffen enthaltend cellulosische Fasern und Fasern aus synthetischen Polymeren“, deutsches Patent DE4333547, 1995

B. Kiehl, „Hochwertiges Recycling von Gore-Tex-Bekleidung“, Melliand Textilberichte 79, 262-263, 1998

S. Klatt, „Entsorgungsverhalten des Bürgers ist entscheidend für das Textilrecycling“, Fachaufsatz Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V., Bonn, 2001

P.A. Koch and M. Stratmann, Die Identifizierung von Faserstoffen mittels chemischer Reaktionen, Melliand-39-10/1958, 1141-1145, 1958.

Koch P.A., Textilchemische Prüfungen, Teildruck T15 aus „Handbuch für Textilingenieure und Textilpraktiker“, Wuppertal-Elberfeld, 1964.

Koslowski H. J., Dictionary of man-made fibers, Special Ed. 2000, Sachtleben Chemie GmbH, Duisburg, Germany, International Business Press Publishers, 2000.

R. Laroche, „Procède de recyclage de revêtements de sol ou muraux textiles et nappes fibreuse obtenues par la mise en oeuvre de ce procédé“, französisches Patent FR2759384, 1998

R. Laroche, A. Morel, „Machine effilocheuse défibreuse pour le recyclage de matières textiles“, Europäisches Patent EP740001, 1996

R. Laroche, André Morel, „Reiss-, Zerkleinerungsmaschine für die Wiederaufbereitung von Textilmaterialien“, Europäisches Patent EP 0740001, 1996

R. Lützkendorf, H. Langner, K.P. Mieck, „Chemiefaserhaltige Mischtextilien – Erkundung neuer Wege des Recycling“, Technische Textilien 37, T99-T103, 1994

E. Milding, U. Holm, G. Lammers, „Nonwoven material comprising a certain proportion of recycled fibres originating from nonwoven and/or textile waste“, Europäisches Patent EP0777782, 1995

E. Milding, U. Holm, G. Lammers, „Nonwoven material comprising a certain proportion of recycled fibres originating from nonwoven and/or textile waste“, Europäisches Patent EP0777782, 1995

A. Morel, „Shredding Machine for Recycling Textile Fibers and Method“, US Patent 4,484,377, 1984

M. Nakamura, T. Nakamoto, „Method and Apparatus for Recycling Textile Goods“, japanisches Patent JP11333437, 1999

R. Passas, C. Voillot, G. Tarrajat, et al., Morfi as a novel technology for morphological analysis of fibers, Recents Progres en Genie des Procedes 15, 259-264, 2001.

R. Rowe, „Textile Recycling Machine“, US Patent 6,061,876, 2000

Y. Shao and M. Filteau, A systematic analysis of fiber contents in textiles, Textile Technology Center, Canada, 2004.

A. Stockwell, „Recycling for Charity's sake“, Proc. Conf. Ecotextile 98 – Sustainable Development, 151-157, April 7-8, 1998

G. E. P. Tourtollet, More reliable, more accurate, and less expensive, ipw, 10-14, 2001.

Y. Wang, H.C. Wu, V.C. Li, „Concrete Reinforcement with Recycled Fibers“, J. Mater. Civil Eng. 12, 314-319, 2000



M. Weiß-Quasdorf, K.P. Mieck, G. Ortlepp, A. Nechwatal, M. Nicolai, E. Beckmann, „Verfahren zur Verbesserung der Reißbarkeit von hochelastischen Textilien mit einem hohen Anteil an Elastanfasern“, Deutsches Patent DE19954633, 2001

H.C. Wu, Y.M. Lim, V.C. Li, „Shrinkage Behavior of Cementitious Composites with recycled Fiber“, Proc. Of the 2nd Annual Great Lakes Geotechnical / Geoenvironmental Conference, May 20th, Lafayette, Indiana, US, 1994

K. Yamada, „Nylon-Made Clothes and its Recycling“, japanisches Patent JP7331510, 1995

## 8. Verzeichnisse

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stoffmengen von Altkleidern (Domenig 2001, Klatt 2001). Die Werte für EU-27 sind aufgrund der pro Kopf-Werte von Österreich und Deutschland geschätzt. ....	7
Abbildung 2: Schema für selektive Löseversuche zur Analyse der Faserzusammensetzung. ....	10
Abbildung 3: Prinzipschema eines Zick Zack Sichters ( <a href="http://www.bueckmann.com">www.bueckmann.com</a> ) ....	12
Abbildung 4: Anteile der Faserkategorien synthetische Polymerfasern (PA, PAN, EL, PP, PE, PET), zellulose Fasern (CA, CTA, CV) und Naturfasern (CO, WO, SE) aus den Resultaten der Proben (Mittelwerte).....	17
Abbildung 5: Verteilungsfunktion von Faserlänge (oben) und Faserdurchmesser (unten) der bei ASA aufbereiteten Probe; Mahlung mit 20/12 Ro, Siebeinsatz: 0,5 mm Rundloch. ....	18
Abbildung 6: Faserlängenverteilung von gemahlene Alttextilien (Lindner Second-hand shop) mit Messintervall von 19 bzw. 99 µm. ....	19
Abbildung 7: Verteilungsfunktion von Faserlänge (oben) und Faserdurchmesser (unten) der bei Lindner aufbereiteten Probe; Mahlung mit 20/12 Ro, Siebeinsatz: 0,5 mm Rundloch. ....	20

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Faserzusammensetzung der Referenzproben gemäß der Kennzeichnung in den Kleidungsstücken und der mittels Löseversuchen ermittelten Daten. ....	11
Tabelle 2: Wichtige Prozessparameter bei der Schneidmahlung. ....	13
Tabelle 3: Einige Charakterisierungsmöglichkeiten von Fasern in Abhängigkeit deren Länge. ....	14
Tabelle 4: Faserzusammensetzung der Probe aus den Zerkleinerungsversuche bei ASA; Werte in Massen %. ....	16

Tabelle 5: Faserzusammensetzung der der Proben aus den Zerkleinerungsversuchen; Werte in Massen %.....	17
Tabelle 6: Beispiele von hydrophoben und hydrophilen Fasern sowie deren Wasserrückhaltevermögen (WRV) gemäß DIN 53 814. ....	21
Tabelle 7: Beispiele von hydrophoben und hydrophilen Fasern sowie deren Wasserrückhaltevermögen (WRV) gemäß DIN 53 814. ....	22
Tabelle 8: Mögliche Abfallquellen, aus denen Recyclingfasern gewonnen werden könnten. ....	23
Tabelle 9: Beispiele von Materialien, die sich als Endanwendung für das Kurzfaser- Recyclingprodukt eignen. ....	26