

Zukunftsweisende Altreifenentsorgung

Andreas Bartl*, Andreas Hackl*, Bettina Mihalyi*, Ingo Marini*, Franz Neubacher**

*Technische Universität Wien

**UV & P Umweltmanagement Ges.m.b.H.

1 Einleitung

Die Gummiverwertungsges. m.b.H. (GVG in Ohlsdorf, Oberösterreich) führt gemeinsam mit der Technischen Universität Wien und UV & P Umweltmanagement Ges. m .b .H. zurzeit ein Forschungsprojekt im Bereich Altreifenrecycling durch. Das primäre Ziel stellt die Entwicklung eines Verfahrens zur stofflichen Verwertung von Altreifen dar, das sowohl ökonomisch gewinnbringend betrieben werden kann als auch ökologisch verträglich ist. Dazu müssen zum einen neue Märkte für Gummimehle erschlossen werden. Zum anderen ist es auch notwendig, Anwendungen für die anfallende Faserfraktion zu entwickeln. Obwohl die Faserfraktion ein ursprünglich hochwertiges und teures Produkt darstellt, existieren bislang keine stofflichen Verwertungsmöglichkeiten.

2 Abfallstoff Altreifen und Altgummi

2.1 Abfallmengen

In der Europäischen Union (EU-15) fallen jährlich etwa 2,5 Millionen t Altreifen an und stellen den überwiegenden Anteil aller Gummiabfälle dar. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wurden im Jahr 2002 ca. 35 % der Altreifen deponiert. Dieser Wert lag 1992 noch bei 62 % und ist weiter im Sinken begriffen (NRZ, 2004). Parallel dazu verzeichnete der Anteil der stofflichen Verwertung eine Vervielfachung (5 → 21 %). Für die nächsten Jahre ist mit einer weiteren Zunahme dieser Verwertungsmöglichkeit zu rechnen.

In Abbildung 2 (linkes Bild) sind die Anteile der Altreifen, die einer Verwertung (energetisch, stofflich oder Wiederverwendung) zugeführt werden, für einige europäische Länder verglichen. In den Ländern Finnland, Holland und Schweden werden bereits keinerlei Altreifen mehr deponiert. Auch Deutschland und Österreich waren 2002 bereits nahe einer vollständig Vermeidung einer Deponierung. Schlusslichter sind Spanien und Polen, in denen 75 % bzw. 69 % der Altreifen auf Deponien landen.

Im rechten Bild der Abbildung 2 sind die Anteile der einzelnen Entsorgungswege in Deutschland für das Jahr 2000 aufgeschlüsselt. Der größte Teil (53 %) der Altreifen (Gesamtmenge: 587 000 t) wird einer thermischen Verwertung zugeführt, wobei hier vor allem die Zementindustrie Altreifen als Ersatzbrennstoff einsetzt (MIELICKE, 2002). Der Anteil der stofflichen Verwertung liegt mit ca. 28 % schon bei mehr als der Hälfte der thermischen Verwertung. Die Bedeutung der stofflichen Verwertung nimmt weiter zu. So

wurde erst im April 2003 eine Reifenaufbereitungsanlage in Oranienburg bei Berlin in Betrieb genommen, die eine Kapazität von bis zu 70 000 t pro Jahr aufweist.

In Österreich ist die Situation bei der Verwertung von Altreifen mit Deutschland vergleichbar. Die Gesamtmenge an Altreifen liegt bei ca. 45 000 t, wobei über 60 % einer thermischen und etwa 30 % einer stofflichen Verwertung zugeführt werden.

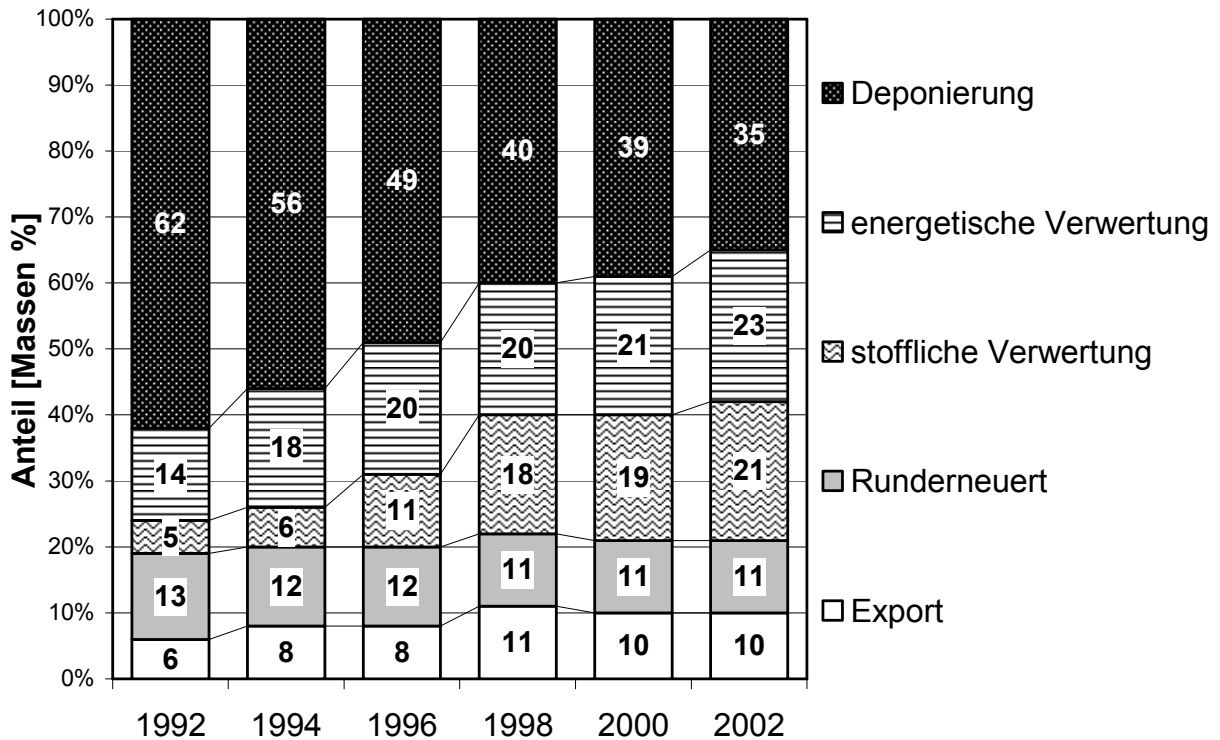


Abbildung 1 Anteile der Entsorgungsschienen für Altreifen in der EU (NRZ, 2004).

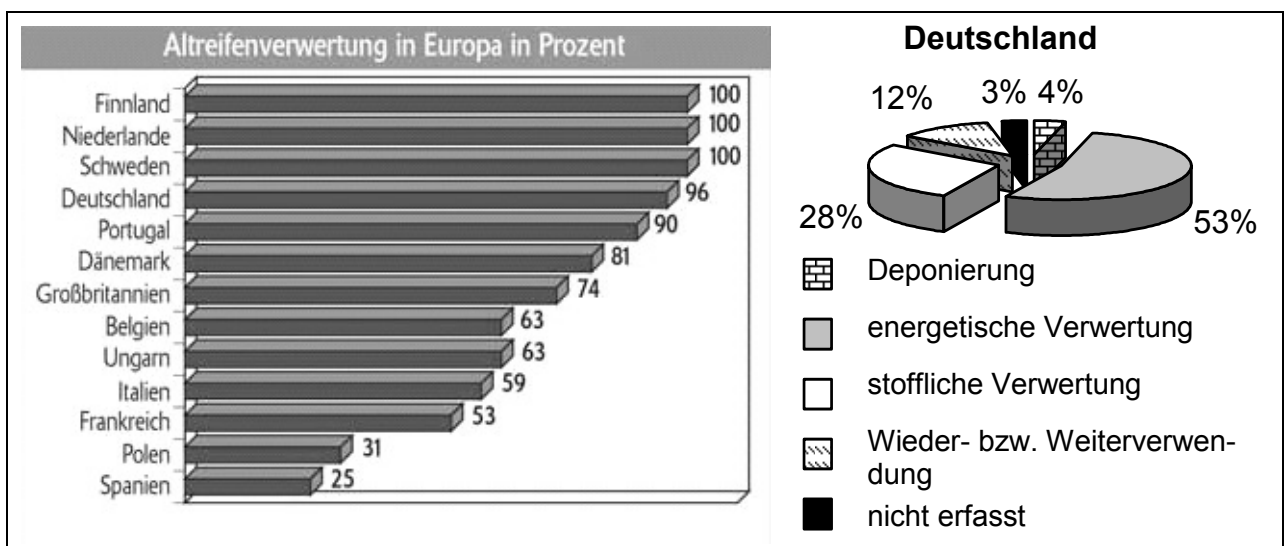


Abbildung 2 Anteile der Altreifenverwertung (Wiederverwendung, thermische und stoffliche Verwertung) in einigen europäischen Ländern (NRZ, 2003) und Anteile der einzelnen Entsorgungswege für Altreifen in Deutschland im Jahr 2000 (MIELICKE, 2002).

In den USA fallen mit jährlich etwa 242 Millionen Stück Altreifen (das sind ca. 2 Millionen t) nur geringfügig weniger Altreifen an als in Europa. Auch in den USA wurde in der Vergangenheit der überwiegende Teil der Altreifen in, zum Teil illegalen und ungesicherten, Deponien abgelagert.

Es wird geschätzt, dass in den USA und der EU jeweils ca. 3 Milliarden Stück Altreifen (das sind ca. 25 Millionen t) als Altlasten in diversen Deponien vorhanden sind (NRZ, 2003; Li, 2004). Diese Altreifen sind nur mehr bedingt für die stoffliche Verwertung geeignet, jedoch als Ersatzbrennstoff für Zementwerke einsetzbar. Da der Heizwert von Altreifen bei ca. 32 MJ/kg liegt, könnten durch thermische Nutzung der 25 Millionen t abgelagerte Reifen in Europa die gleiche Menge Steinkohle (Heizwert: 33 – 35 MJ/kg) oder ca. 19 Millionen t Erdöl (Heizwert: 38 – 46 MJ/kg) eingespart werden.

2.2 Reifentechnologie

Reifen für Personen- und Lastkraftfahrzeuge stellen einen Verbundwerkstoff dar. Die Matrix besteht aus Gummi, der durch Stahldraht und Textilfasern verstärkt ist. Gummi selbst ist ein Elastomer, das aus natürlichen und künstlichen Kautschuken sowie weiteren Zusätzen (z.B.: Russ) durch Vulkanisation hergestellt wird.

Abbildung 3 zeigt den Aufbau eines modernen PKW Radialreifens und eines LKW Reifens. Die Konstruktion muss extrem hohen Anforderungen genügen, um ausreichend Sicherheit und Fahrkomfort zu gewährleisten. Der Hauptunterschied zwischen PKW und LKW Reifen liegt im Anteil an Stahl, der im LKW Reifen bis zu 35 Massen % betragen kann (CONTINENTAL, 2000), und im Anteil von Textilfasern, die nur in PKW Reifen zu nennenswerten Anteilen enthalten sind.

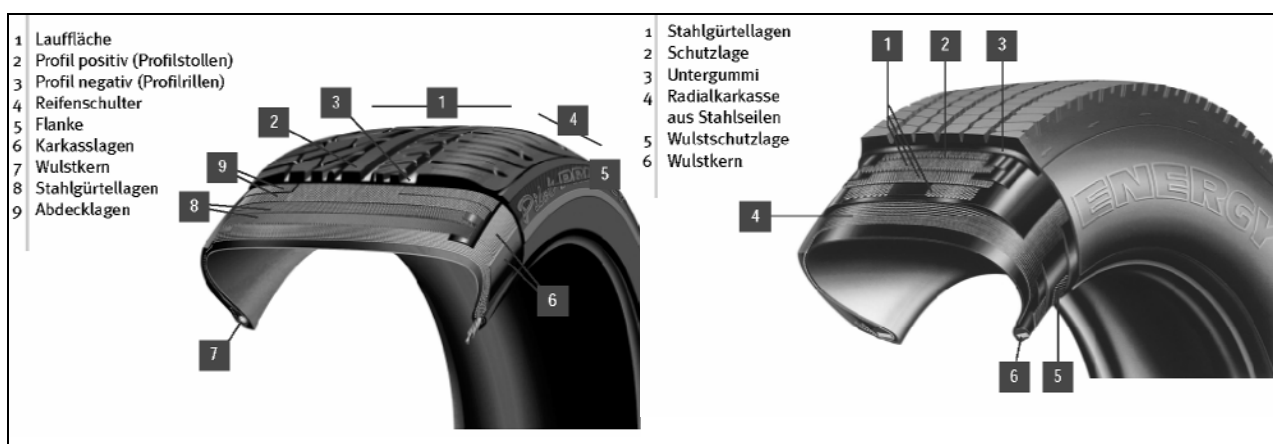


Abbildung 3 Aufbau eines modernen PKW Radialreifens (links) und eines LKW Reifens (rechts) laut Fa. MICHELIN

In Tabelle 1 sind die Anteile der Hauptkomponenten, sowie die chemische Zusammensetzung von PKW Reifen angegeben. Die exakte Zusammensetzung kann nach Her-

steller und Reifentype (Sommer, Winter, Geschwindigkeitsbereich etc.) mehr oder weniger stark schwanken.

Tabelle 1 Zusammensetzung von PKW Reifen (BUWAL, 2001)

Stoff	Anteil [Massen %]	Element/Verbindung	Gehalt [Massen %]
Kohlenwasserstoffpolymere (hauptsächlich Kautschuke)	47,0	C	70
		Fe	16
		H	7
Russ (teilw. SiO ₂)	21,5	O	4
		ZnO	1
Stahl	16,5	S	1
		N	0,5
Textilfasern	5,5	Stearinsäure	0,3
		Halogene	0,1
Zinkoxid	1,0	Cu-Verbindungen	0,02
		Cd	0,001
Schwefel	1,0	Cr	0,009
		Ni	0,008
Sonstige	7,5	Pb	0,005

2.3 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Im vorigen Kapitel wurde gezeigt, dass die Deponierung von Altreifen in einigen EU Ländern noch immer eine gängige Entsorgungsmethode darstellt (Abbildung 2). Aufgrund der Gesetzeslage wird die Deponierung innerhalb der EU Länder jedoch weiter an Bedeutung verlieren. Folgende gesetzliche Rahmenbedingungen lassen einen weiteren Anstieg der Verwertung in den nächsten Jahren erwarten.

Gemäß der Richtlinie 1993/31/EG des europäischen Rates vom 26. April 1999 dürfen 4 Jahre nach deren Inkrafttreten (somit bereits ab 26. April 2003) keine ganzen Reifen mehr deponiert werden. Diese Richtlinie gilt 9 Jahre nach Inkrafttreten (somit ab 26. April 2008) auch für geshredderte Reifen. Es kann also davon ausgegangen werden, dass längstens zu diesem Zeitpunkt innerhalb der EU auch in denjenigen Ländern keine Deponierung mehr erfolgen wird, in denen heute noch kaum Verwertungsmöglichkeiten genutzt werden.

In Österreich regelt zusätzlich die am 1. Juli 1997 in Kraft getretene Novelle des Wasserrechtsgesetzes, die längstens bis zum Jahr 2004 (mit wenigen Ausnahmen bis zum Jahr 2009) abgeschlossen sein muss, die Deponierung von Abfallstoffen. Es wurde für deponierten Abfall ein Grenzwert für den TOC (Total Organic Carbon) eingeführt, wobei der maximal zulässige Gehalt an organischem Kohlenstoff bei 5 Masseprozent liegt. Dadurch wird nicht nur die Deponierung von Altreifen, sondern auch die Deponierung der beim Zerkleinern von Altreifen anfallenden Faserfraktion untersagt.

Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen für eine Deponierung, ist auch die Richtlinie 2000/53/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 zu beachten. Darin wird festgelegt, dass ab 1. Jänner 2006 mindestens 80 % (ab 1. Jänner 2015 mindestens 85 %) der Masse von Kraftfahrzeugen einer Wiederverwendung zugeführt werden müssen. Im Hinblick auf diese Notwendigkeit gewinnt die stoffliche Verwertung von Altreifen zusätzlich an Bedeutung. Die Masse der Reifen eines PKW's liegt mit etwa 40 kg (5 Stück zu je ca. 8 kg) bei rund 3 % der Fahrzeugmasse. Bei einer stofflichen Verwertung der Reifen können diese 3 % auf die Wiederverwertungsquote angerechnet werden.

3 Entsorgungs- und Verwertungsmöglichkeiten von Altreifen

3.1 Überblick

Die Reifen, die aufgrund von Abnützungen und Beschädigungen nicht mehr verwendet werden können oder nicht mehr den gesetzlichen Anforderungen genügen, müssen einer entsprechenden Verwertung bzw. Entsorgung zugeführt werden. In Tabelle 2 sind die Möglichkeiten angeführt. Ausführlichere Informationen sind in den nachfolgenden Kapiteln enthalten.

Tabelle 2 Möglichkeiten zur Entsorgung und Verwertung von Altreifen (MIELICKE, 2002; RESCHNER, 2003; BUWAL, 2001).

⇒ Wieder- und Weiterverwendung	<ul style="list-style-type: none"> ○ Export in zumeist außereuropäische Länder ○ Nachschneiden ○ anderwärtige Verwendung (z.B.: Fender)
⇒ Werkstoffliche Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> ○ Runderneuerung ○ Zerkleinerung und Trennung (Gummi, Stahl, Textil)
⇒ Rohstoffliche Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pyrolyse ○ Hydrierung ○ Vergasung
⇒ Energetische Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> ○ Zementwerke ○ Heizkraftwerke und andere
⇒ Deponierung	

3.2 Wieder- und Weiterverwendung

Der Export von Altreifen erfolgt dabei zumeist in außereuropäische Länder, die geringere Qualitätsanforderungen und Sicherheitsstandards, wie zum Beispiel die Profiltiefe, an den Reifen stellen. Nach Ende dieser Weiternutzung ist jedoch in den Exportländern

eine umweltgerechte Entsorgung oder Verwertung zumeist nicht gesichert (MIELICKE, 2002).

Das Nachschneiden des Reifenprofils kommt ausschließlich für LKW Reifen in Frage und ist mengenmäßig von untergeordneter Bedeutung. Die Mengen an Altreifen, die in anderen Bereichen (z.B.: in Hafenanlagen als Prallschutz, bei Kompostmieten als Abdeckung) weiterverwendet werden sind ebenfalls sehr gering (MIELICKE, 2002).

3.3 Werkstoffliche Verwertung

3.3.1 Runderneuerung

Bei der Runderneuerung wird die komplette Karkasse des Reifens wieder verwendet und nur die Lauffläche erneuert. Die Runderneuerung erfüllt die Anforderungen an eine stoffliche Verwertung prinzipiell am besten, da der überwiegende Teil (ca. 80 %) des Reifens stofflich wieder verwendet wird. Schlussendlich wird jedoch eines Tages auch ein runderneuerter Reifen als Altreifen anfallen und muss entsprechend entsorgt werden. Die Runderneuerung hat im Bereich LKW Bereifung einen hohen Stellenwert und Karkassen können bis zu dreimal runderneuert werden (MIELICKE, 2002). PKW Reifen hingegen werden nur zu einem geringen Anteil runderneuert. In Deutschland liegt der Anteil bei etwa 5,5 % (NRZ, 2002). Dieser niedrige Anteil liegt vor allem in dem geringen Image von runderneuertem Reifen.

Runderneuerte Reifen können nahezu die Qualität von Neureifen erreichen, jedoch liegt der Rollwiderstand um mindestens 3 %, oftmals jedoch bis zu 10 % höher. Der Einsparung an Ressourcen (Rohstoff, Energie, Wasser etc.) im Vergleich zu Neureifen steht somit einem höheren Treibstoffverbrauch beim Betrieb des Kraftfahrzeuges entgegen. Bei einer Rollwiderstandserhöhung von 3 % ergibt sich eine etwa gleiche Umweltbelastung, bei einer Rollwiderstandserhöhung von 10 % verändert sich die Ökobilanz zu Ungunsten eines runderneuertem Reifens (KRÖMER, 1999).

3.3.2 Stoffliche Verwertung

3.3.2.1 Energiebilanz

Wie in Tabelle 3 dargestellt, beträgt die Energiebilanz bei der Herstellung und anschließenden Verbrennung von Reifen ca. 174 MJ/kg. Im Falle, dass der Gummi des Altreifens wiederverwertet wird, reduziert sich dieser Wert auf ca. 120 MJ/kg. Dies ist eine Energieersparnis von ca. 54 MJ/kg. Bei einem Satz PKW Reifen können somit ca. 1 700 MJ Primärenergie (sowie Ressourcen) gespart werden.

Tabelle 3 Energiebilanz Reifen im Falle der Verbrennung und der stofflichen Wiederverwertung (Stahl und Textilfraktion nicht berücksichtigt, RESCHNER, 2003).

Energiebilanz Verbrennung		Energiebilanz Wiederverwertung	
Herstellung Kautschuk	+ 90 MJ/kg	Zerkleinern	+ 4 MJ/kg
Herstellung Reifen	+ 116 MJ/kg	Herstellung Reifen	+ 116 MJ/kg
Verbrennung Reifen	- 32 MJ/kg		
Gesamtbilanz	+ 174 MJ/kg	Gesamtbilanz	+ 120 MJ/kg

3.3.2.2 Verfahrensprinzip

Die Aufbereitung von Altreifen besteht aus einer ganzen Reihe von Verfahrensschritten, wobei sich Zerkleinerung und Stofftrennung abwechseln bzw. ergänzen. Diese Verfahrensschritte lassen sich in drei Phasen gliedern:

1. Vorzerkleinerung

Die sortierten Reifen (LKW, PKW, andere Produkte aus Gummi) werden mittels Rottorschern in etwa handtellergröße Stücke (Reifenshreds) zerkleinert. In modernen Anlagen, wie bei GVG in Ohlsdorf, entfällt das kostenintensive Entwulsten der Altreifen.

2. Granulierung

In einem mehrstufigen Prozess werden die geshredderten Altreifen in Granulatoren und Schneidmühlen stufenweise zerkleinert. Durch Sicht- und Siebprozesse erhält man drei Fraktionen: Gummigranulat, Stahlschrott und Textilfraktion.

Die Textilfraktion kann noch mittels eines Zyklons in Textilfasern und Textilstaub getrennt werden. In der Staubfraktion findet sich auch der größte Teil der Verunreinigungen, die mit den Altreifen in die Anlage eingebracht werden.

3. Kaltmahanlage

Das im vorigen Prozessschritt erhaltene Gummigranulat wird mittels flüssigem Stickstoff auf unter minus 100°C abgekühlt. Dadurch wird das Granulat glashart. In der nachgelagerten Spezialmühle erfolgt die Vermahlung des Granulats zu feinstem Gummimehl.

Abbildung 4 ist ein grobes Verfahrensschema einer Altreifen Recyclinganlage (GVG in Ohlsdorf) skizziert. Aus der Abbildung sind auch die durchschnittlichen Mengen der einzelnen Fraktionen zu entnehmen.

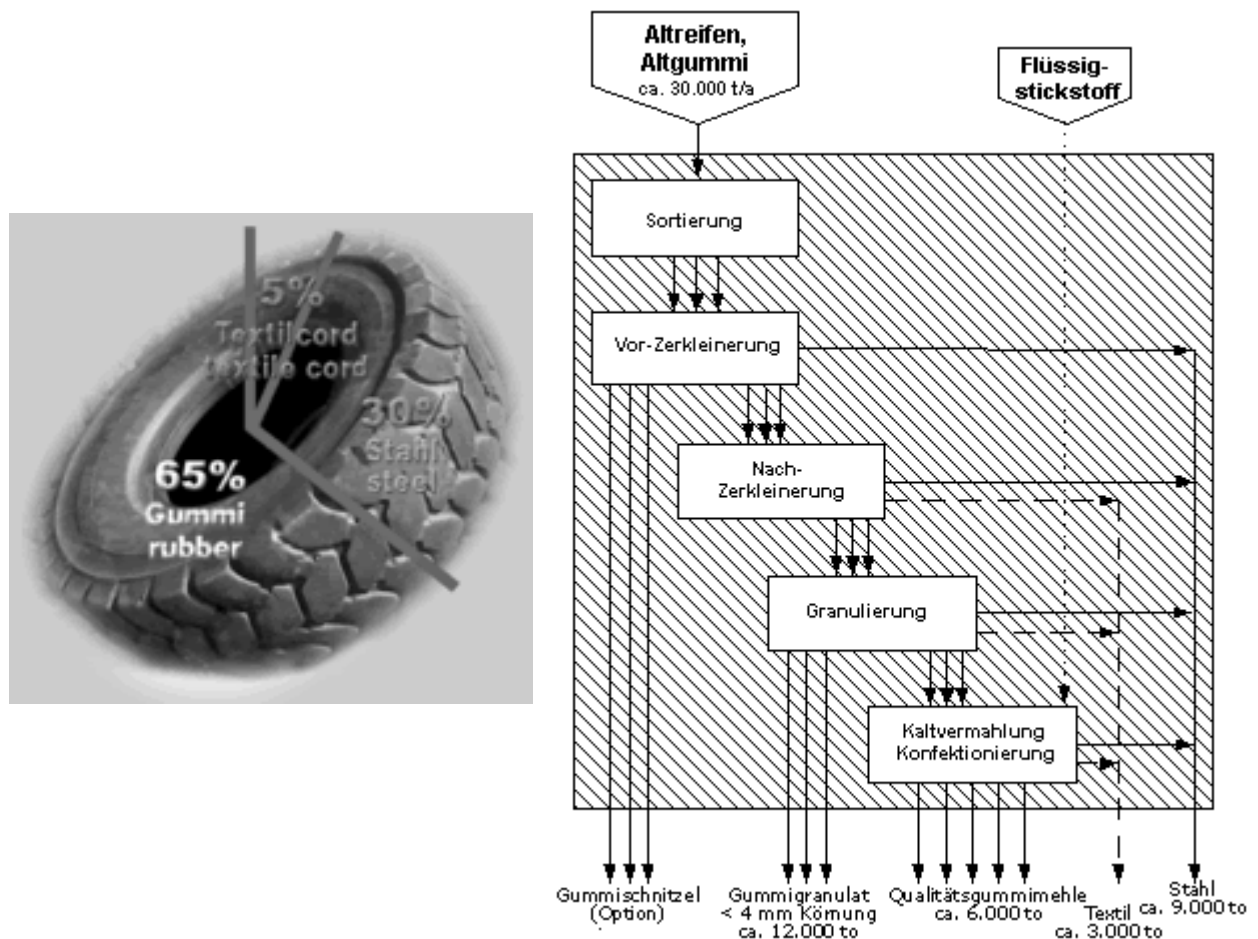


Abbildung 4 Prinzipschema der Altreifen Recyclinganlage der GVG in Ohlsdorf und typische Zusammensetzung der Altreifen (Durchschnitt PKW und LKW Reifen).

3.4 Rohstoffliche Verwertung

Folgende Methoden kommen für eine rohstoffliche Verwertung in Frage (MIELICKE, 2002; BUWAL 2001):

- Pyrolyse
- Hydrierung
- Vergasung

Das Prinzip der Reifenpyrolyse besteht darin, entweder ganze oder auch vorzerkleinerte Reifen, unter Ausschluss von Luftsauerstoff, auf ca. 600°C zu erhitzen, so dass es zu einer thermischen Zersetzung des Gummianteils und der Textileinlagen kommt. Die Produkte der Altreifenpyrolyse sind:

- Pyrolysegase
- Pyrolyseöle
- Pyrolysekoks
- Stahlschrott

Der ebenfalls anfallende Pyrolysekoks besteht aus Russ, Zinkoxid und mineralischen Verunreinigungen. Er kann nur sehr schwer einer sinnvollen stofflichen Verwertung zugeführt werden, weil dieses Material oft noch mit Ölen durchtränkt ist und erst aufwendig aufbereitet werden muss.

Bei der Hydrierung wird der gemahlene Gummi unter hohem Druck und hoher Temperatur verflüssigt und hydriert. Dabei entstehen ein Syntheseöl, das qualitativ dem Rohöl ähnlich ist, sowie ein schwermetallhaltiger Rückstand, der relativ aufwändig entsorgt werden muss.

Bei der Vergasung wird mit wesentlich höheren Temperaturen gearbeitet (1 200 bis 1 400°C). Dabei entsteht hauptsächlich CO und H₂ und in geringeren Ausmaßen CO₂ und CH₄.

Pyrolyse, Hydrierung und Vergasung stellen genau genommen nichts weiter als eine vorangehende Phase einer thermischen Verwertung dar, weil der überwiegende Anteil der Pyrolyseprodukte aus Energieträgern (Gas und Öl) besteht.

3.5 Energetische Verwertung

Mit einem Heizwert von ca. 32 MJ/kg eignen sich Altreifen als Brennstoff-Ersatz in Zementwerken und Kraftwerken. Sowohl in den USA, als auch in vielen europäischen Ländern ist die thermische Verwertung derzeit noch die wichtigste Entsorgungsmethode für Altreifen.

Aufgrund der hohen Verbrennungstemperatur in den Drehrohröfen (ca. 1 450°C) können in Zementwerken sogar ganze Reifen relativ umweltschonend verfeuert werden. Die Stahleinlagen der Reifen oxidieren vollständig und werden Bestandteil des Zementklinkers (Calciumaluminatferrit). Die energetische Verwertung in Zementwerken zählt somit teilweise zu den rohstofflichen Verwertungsmethoden.

Die Zementindustrie erhält dabei einen Entsorgungsbeitrag, der in Deutschland und Österreich in der Höhe von etwa 50 bis 80 €/t liegt.

3.6 Deponierung

Altreifen stellen wegen ihrer Form, Beschaffenheit und Brennbarkeit einen relativ problematischen Abfallstoff dar. Reifendeponien bergen eine eminente Brandgefahr in sich. Reifenbrände sind kaum zu löschen und können im Extremfall über mehrere Monate andauern. Dabei entstehen nicht nur große Mengen schädlicher Abgase, sondern auch Pyrolyseöle, die umliegende Gewässer, das Grundwasser sowie das Erdreich erheblich verseuchen.

Abgesehen von der Brandgefahr können Reifendeponien erhebliche Gesundheitsrisiken verursachen. Insbesondere im Freien befindliche Altreifenlager sind wegen der vielen kleinen, windgeschützten Wasserlachen in den Reifen ideale Brutstätten für Stechmücken, die nicht selten gefährliche Krankheiten übertragen.

4 Experimenteller Teil

4.1 Status quo in der Verwertung der Reifenfraktionen

4.1.1 Verwertung der Stahlfraktion

Die Stahlfraktion kann problemlos zur Stahlerzeugung eingesetzt werden. Dieser Rohstoff kann zu 100 % stofflich wieder verwendet werden. Aufgrund der hohen Temperaturen bei der Stahlherstellung, stören auch eventuelle Reste von Gummi und Fasern nicht.

4.1.2 Verwertung der Gummifraktion

Seit dem Aufschwung der Altreifen-Recyclingbranche in den frühen 90er Jahren sind eine ganze Reihe von Anwendungen für Granulate und Mehle entstanden, bei denen man nicht unbedingt von Recycling im eigentlichen Sinne sprechen kann. Es handelt sich vielmehr um völlig neuartige und eigenständige Anwendungen für ein Material, das sich in vielerlei Hinsicht von den herkömmlichen Kautschukmischungen unterscheidet. Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten aus dem Altreifenrecycling.

Die Anwendung von Granulaten und Mehlen als Füllstoff in der Reifenindustrie wäre der naheliegendste Einsatzbereich, weil in dieser Branche die mit Abstand größte Menge an Elastomeren verwendet wird. Weltweit werden ca. 65 % aller jährlich produzierten Elastomere zu Reifen verarbeitet. Zwar ist es möglich, ohne nennenswerte Qualitätseinbußen Recyclingmaterial bei der Herstellung von Reifen einzusetzen, dies wird aber zurzeit nur von einigen wenigen Reifenherstellern praktiziert, da Reifen, die Altgummi enthalten, aufgrund von Imageproblemen bei den Kunden weniger gefragt sind. Ein eventueller Einsatz von Recyclingmaterial wird somit von den Reifenherstellern nicht bekannt gegeben.

Tabelle 4 Möglichkeiten zur Verwendung von Gummimehlen aus dem Altreifenrecycling (RESCHNER, 2003).

Anwendungsgebiet	Bemerkung
Granulate und Mehle als Füllstoff in der Kautschukindustrie	für Reifenproduktion geeignet, jedoch Daten von Reifenherstellern nicht verfügbar (Image!)
Entvulkanisation	Wiederverwendung ohne nennenswerte Qualitätseinbußen
Oberflächenaktivierung	Pressen von Formteilen nur mit Hitze und Druck möglich
Sportböden und Fallschutzmatten	seit Jahrzehnten in Anwendung;
Formteile und Matten	Gummigranulat mit PU Binder; z.B.: Verbundpflastersteine, Eisenbahnübergänge
Thermoplastische Elastomere	Gummigranulat mit Recycling-Thermoplast; mittels Spritzgießen verarbeitbar
Gummigranulate im Garten- und Landschaftsbau	reduziert Bodenkompaktierung von Rasenflächen; z.B. Fußball- und Golfplätze
Ölbindemittel	schwimmfähig und hydrophob; bindet fast ausschließlich Öl, kein Wasser durchtränktes Material als Brennstoff einsetzbar
Gummigranulat als Zuschlagsstoff für Asphalt - (Gummiasphalt)	deutliche Erhöhung der Lebensdauer des Asphalts Verminderung der Lärmemission
Poröse Bewässerungsschläuche	Minimierung der Verdunstungsverluste
Aufgesprühte Granulatschichten	Schutzschichten z.B.: im Bereich Schiffsbau
Fugendichtmassen	Gummigranulat mit Bitumen; Einsatz im Straßenbau
Loses Granulat auf Spielplätzen	optimaler Fallschutz

4.1.3 Verwertung der Textilfraktion

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Gummifraktion, wie in Kapitel 4.1.2 erläutert, ermöglichen somit einen Recyclingprozess, der auch aus wirtschaftlicher Sicht interessant ist. Bei der Aufbereitung der Altreifen ist jedoch der Anfall von Faserreststoffen unvermeidlich. Eine stoffliche Verwendung der Textilfraktion ist bislang jedoch nicht möglich, sodass zurzeit das Material primär einer thermischen Entsorgung zugeführt wird. Die Entsorgungskosten der Textilfraktion betragen etwa 50 bis 90 €/t.

Bei der Textilfraktion, die im Zuge des Altreifenrecyclings anfällt, handelt es sich jedoch um ein Produkt, das aus hochwertigen Fasern besteht. Wie in Abbildung 5 dargestellt, bestehen die Fasern, die in PKW-Reifen eingesetzt werden, fast ausschließlich aus Viskose, Polyamid und Polyester in Cordqualität. Diese Qualität ist hinsichtlich Festigkeit und Dehnung einer textilen Qualität deutlich überlegen. Dabei ist zum einen der hohe Anteil an Viskose in Europa im Vergleich zu den USA und dem fernen Osten auffällig. Zum anderen ist generell in den letzten Jahren der Anteil an Polyesterfasern gestiegen. Die Kosten für neuwertige Fasern dieser Typen sind relativ hoch und zu ihrer Herstellung werden beträchtliche Mengen an Energie und Ressourcen benötigen. Eine Wiederverwendung der Textilfraktion ist sowohl aus wirtschaftlicher Sicht als auch aus ökologischer Sicht anzustreben.

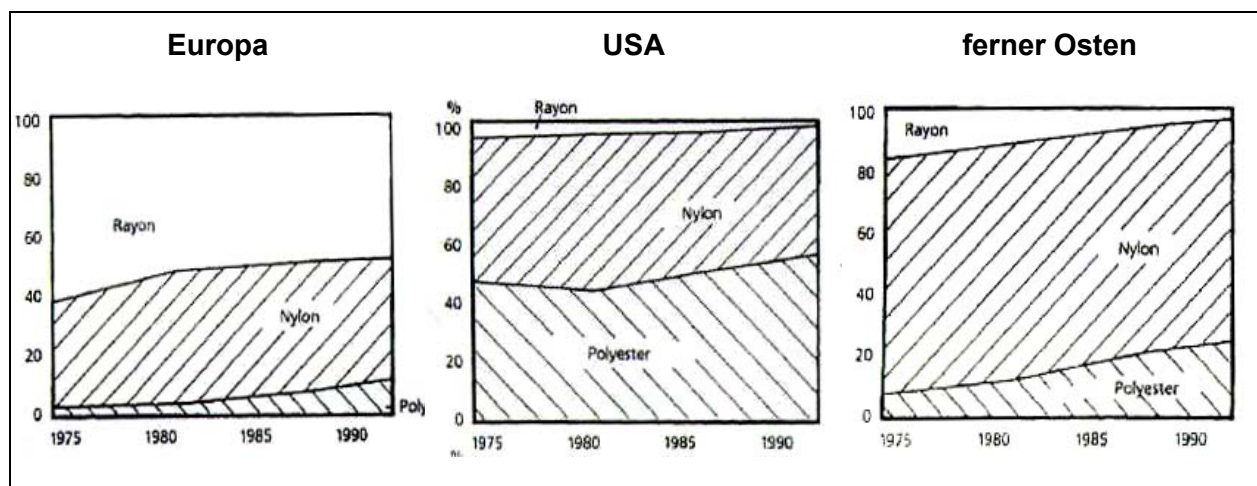


Abbildung 5 Zusammensetzung der Fasern in Reifen für USA, Europa und fernen Osten (CELANESE, 1991).

Eine Trennung der Textilfraktion in die einzelnen Fasergattungen ist praktisch nicht möglich. Zusätzlich enthält die Textilfraktion noch Reste von Elastomer. Zum anderen sind die Fasern durch die mechanischen Trennprozesse stark gekürzt. Eine werkstoffliche Verwertung im gleichen Anwendungsbereich kann nicht erreicht werden. Durch eine Kaskadennutzung können jedoch der Produktzyklus verlängert und Ressourcen gespart werden.

Aufgrund ihrer chemischen Beschaffenheit können die Fasern hinsichtlich Recycling mit Zellulose- und Kunststoffverpackungen verglichen werden (z.B.: PET). In Tabelle 5 sind die Einsparpotentiale bei thermischer, rohstofflicher und werkstofflicher Verwertung von Kunststoffverpackungen im Vergleich zur Deponierung verglichen. Die derzeit bestmögliche Praxis, die Fasern thermisch zu verwerten stellt zwar im Vergleich zur Deponierung eine Schonung von Ressourcen dar, jedoch werden mehr CO₂ Äquivalente pro Jahr emittiert.

Bei einer werkstofflichen Wiederverwendung der Fasern kann jedoch noch zusätzlich Energie gespart werden und gleichzeitig auch die Emission von CO₂ reduziert werden.

Tabelle 5.: Einsparpotential an Heizöl und Treibhausgasen durch unterschiedliche Verwertungsmethoden von Kunststoffverpackung im Vergleich zur Deponierung (BRANDRUP, 1998).

Verwertungs- methode	Einsparpotential	
	Ressourcen	Treibhauseffekt
	[kg Heizöl / kg Kunststoff]	[kg CO ₂ Äquivalent / kg Kunststoff]
thermisch	0,561	-1,202
rohstofflich	0,714	0,297
werkstofflich	1,336	1,021

4.2 Mögliche Anwendungsgebiete

Die Ausgangssituation für die Wiederverwendung der Fraktionen Gummimehl und Fasern ist völlig unterschiedlich. Wie in Kapitel 4.1.2 näher erläutert, existiert bereits eine Vielzahl von Anwendungsfeldern für aus Altreifen gewonnene Gummimehle. Ein Einsatz in verwandten Gebieten liegt nun auch für die Faserfraktion nahe.

Die Faserfraktion enthält immer einen mehr oder minder großen Restgehalt an Gummimehl, der nicht oder nur unter extrem hohem Aufwand abzutrennen wäre. Einen Produktbereich, der für beide Recyclingfraktionen einen möglichen Absatzmarkt darstellt, stellen Bitumen und daraus hergestellte Werkstoffe dar.

Dieser Absatzmarkt ist von der Größe her besonders interessant. So wurden 1998 in Deutschland etwa 3,4 Millionen t Bitumen verbraucht (ARBIT). Dem steht eine Menge von 587 000 t Altreifen (MIELICKE, 2002) gegenüber, die etwa 115 000 t Gummimehle ergeben (Annahme: ca. 65 Massen % Gummianteil im Reifen, Anteil stoffliche Verwertung: ca. 30 %). Die Gesamtmenge Gummimehl liegt somit etwa bei 3,5 % des Verbrauchs an Bitumen und könnte somit problemlos als Additiv eingesetzt werden. Dieses Verhältnis Bitumen – Gummimehl ist auch in Österreich in der gleichen Größenordnung.

Die Menge an Fasern, die aus der stofflichen Verwertung von Altreifen anfällt, ist im Vergleich zu den Gummimehlen wesentlich geringer. Der Anteil an Fasern in Altreifen liegt im Bereich von 3 bis 5 Massen %, wobei LKW Reifen fast keine Fasern enthalten. Beim bekannten Altreifenaufkommen in Deutschland im Ausmaß von 587 000 t (MIELICKE, 2002) und einer Quote der stofflichen Verwertung im Ausmaß von 30 % ergibt sich eine Fasermenge von etwa 5 000 bis 10 000 t, die einer sinnvollen Wiederverwendung zugeführt werden muss.

4.3 Gummimehle

Aufgrund der zur Verfügung stehenden Mengen, wurden für die Gummimehle Versuche im Bereich Asphalt durchgeführt. Dort wird auch mit fast 80 % geht der weitaus größte Teil der Bitumenproduktion abgesetzt.

In den USA ist der Zusatz von Gummimehlen zum Bitumen-Bindemittel für die Asphalt-herstellung bereits eine gängige und erprobte Einsatzmöglichkeit. In Europa ist dieser Anwendungsbereich jedoch noch nicht verbreitet. Vor einer großflächigen Anwendung sind zunächst umfangreiche Tests notwendig.

Die Firma GVG hat im Jahre 2002 gemeinsam mit der Strabag Bauholding ein Teilstück der Kremstalbundesstraße B139 (Oberösterreich) in einem sehr stark befahrenen Abschnitt als Teststrecke mit Gummi-asphalt ausgeführt. Dabei wurde die alte, ca. 20 Jahre alte Konstruktion, die durch Spurrinnen und Risse stark beschädigt war, durch eine 3,5 cm dicke Deckschicht überbaut. Es wurde ein gummimodifizierter Asphalt 0/11 verwendet. Die Fläche des Streckenabschnittes beträgt 10 000 m². Das Ziel des Versuches war es, folgende Fragen zu untersuchen:

1. Überbauung von alten, schadhafte Konstruktionen

Üblicherweise kann eine Deckschicht nicht auf eine alte Konstruktion aufgebracht werden, da diese instabil ist und sich Risse durch die neue Deckschicht fortsetzen. Durch die höhere Elastizität von Gummi-asphalt kann jedoch auf die aufwändige Sanierung der Tragschichten verzichtet werden.

Die Verwendung von Gummi-asphalt bietet somit ein großes Einsparungspotential, da nur die Deckschicht erneuert werden muss. Zusätzlich sind die Bauzeiten deutlich kürzer, wodurch Staus und Unfälle vermieden werden können.

2. Langzeitbeständigkeit / Standzeiten

Bislang wurden keine Schäden festgestellt. In parallel ablaufenden Laborversuchen wurde festgestellt, dass die Ausbildung von Spurrinnen deutlich geringer ist, als mit herkömmlichen (teuren) Polymermodifizierten Bitumen. So wurde mit Gummi-asphalt eine Verformung von 4,7 % gemessen, während Asphalte mit Polymermodifizierten Bitumen im Bereich von 8 bis 10 % liegen.

Eine erhöhte Standzeit ist zu erwarten. Die Teststrecke wird jedoch in den nächsten Jahren weiter untersucht.

3. Griffigkeit

Die Griffigkeit wurde durch Messen des Gleitreibungsbeiwertes μ (System roadstar) bestimmt. Dabei wurde am neuen Asphalt im Oktober 2002 ein μ -Wert im Bereich von 0,75 bis 0,80 festgestellt. Dieser Wert liegt sehr hoch und ist sonst nur mit sehr hochwertigen und teuren Asphalten erreichbar.

Im November 2003 ergab eine neuerliche Bestimmung des Gleitreibungsbeiwertes, dass dieser unverändert war. Bei üblichen Asphalten sinkt der μ -Wert mit der Zeit ab.

Es konnte somit gezeigt werden, dass durch Verwendung von Gummiasphalt die Verkehrssicherheit erhöht werden kann. Die Griffigkeit des Gummiasphalts liegt nicht nur auf einem sehr hohen Niveau. Auch bei hoher Verkehrsbelastung bleibt diese positive Eigenschaft de facto unverändert erhalten.

4. Lärminderung

Die Lärmentwicklung auf der Teststrecke wurde mittels zweier Methoden gemessen. Zum einen wurde die Lärmmessung mobil in einem PKW Anhänger durchgeführt, zum anderen wurden am Straßenrand Messsysteme angebracht. Dabei konnte festgestellt werden, dass im Vergleich zu konventionellen Asphaltdecken eine Lärmreduktion von 3 bis 4 dB erreicht werden kann. Dies bedeutet eine Halbierung des subjektiven Lärmempfindens.

Die bisherigen Resultate mit der oben genannten Teststrecke sind äußerst positiv. Weitere Laborversuche werden zurzeit durchgeführt.

4.4 Fasern

Im Hinblick auf den Einsatz der aus den Altreifen recycelten Fasern ist es zunächst primär einmal notwendig, eine möglichst genaue Analyse der Fasergeometrie durchzuführen.

Die Bestimmung der Faserlänge und des Faserdurchmessers stellt keine einfache Aufgabenstellung dar. Durch einfaches Sieben oder auch Luftstrahlsieben können keine sinnvollen Resultate erhalten werden. Neben der Schwierigkeit die Faser überhaupt zu sieben, da diese stark agglomerieren, liegt der Nachteil des Siebens darin, dass bei Fasern nicht zwischen Durchmesser und Länge unterschieden werden kann. Die Röntgenbeugung stellt eine gängige Methode dar, um Partikel, besonders im Feinstkornbereich, zu charakterisieren. Allerdings kann diese Methode nur einen mittleren Durchmesser ermitteln, der bei Fasern kein sinnvolles Charakteristikum darstellt.

Es zeigte sich jedoch, dass das MorFi Analysensystem (PASSAS, 2001; TOURTOLLET, 2001) sehr gut für die gegenständliche Problemstellung geeignet ist. Dieses Analysensystem basiert auf einer digitalen Bildauswertung und wurde von Pulp and Paper Research & Technical Centre (CPT), St. Martin, Frankreich entwickelt. Dazu wird die Probe in Wasser suspendiert und durch eine Messzelle gepumpt. In der Messzelle werden mittels einer hochauflösenden Digitalcamera Fotos aufgenommen. Ein Softwaresystem kann aus den Bildern die Länge und den Durchmesser, sowie weitere faserspezifische Parameter ermitteln. Das System ist speziell für Zellstoff entwickelt worden und wird hauptsächlich von der Papierindustrie eingesetzt. Bei entsprechender Erfahrung können neben Zellstoff auch nahezu alle Fasern untersucht werden, wobei folgende Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

1. Die Probe muss eine faserartige Struktur aufweisen (Länge \gg Durchmesser). Partikel werden nicht analysiert und von der Software ignoriert.
2. Messbereich Faserlänge: 0,1 bis 10 mm
3. Messbereich Faserdurchmesser: 5 bis 75 μm
4. Die Probe muss in Wasser suspendierbar sein. Hydrophile Materialien (z.B.: Viskose) sind problemlos suspendierbar, es muss jedoch eine Quellung (Zunahme Durchmesser) in Kauf genommen werden. Hydrophobe Materialien (z.B.: PET, PA) benötigen ein Benetzungsmittel.

Die Analysenergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt. Dabei werden zwei Proben von Fasern, die als Altreifen recycelt wurden mit Arbocel[®] (gemahlener Zellstoff) verglichen, das häufig als Zusatz in Spezialasphalten verwendet wird.

Es zeigt sich, dass die Fasern aus dem Altreifenrecycling mit Arbocel[®] hinsichtlich Faserlänge vergleichbar sind. Die Reifenfasern B zeigen ein ausgeprägtes Maximum bei ca. 0,5 mm. Die mittlere Länge liegt bei ca. 1 mm. Die Reifenfasern A sind in etwa 0,5 mm lang und zeigen eine sehr breite Verteilung. Arbocel[®] weist einen sehr hohen Anteil an sehr kurzen Fasern auf und es ist offensichtlich, dass ein nicht unerheblicher Anteil kürzer als 0,1 mm ist, der durch das Messsystem nicht erfasst werden kann.

Der Faserdurchmesser aller drei Proben liegt bei etwa 20 μm . Die Verteilung ist im Falle der Reifenfasern sehr eng. Dies liegt daran, dass es sich um Kunst- und Synthefasern handelt. Im Gegensatz dazu ist die Verteilung bei Arbocel[®] erwartungsgemäß sehr breit. Gemahlenem Zellstoff ist eben ein Naturprodukt.

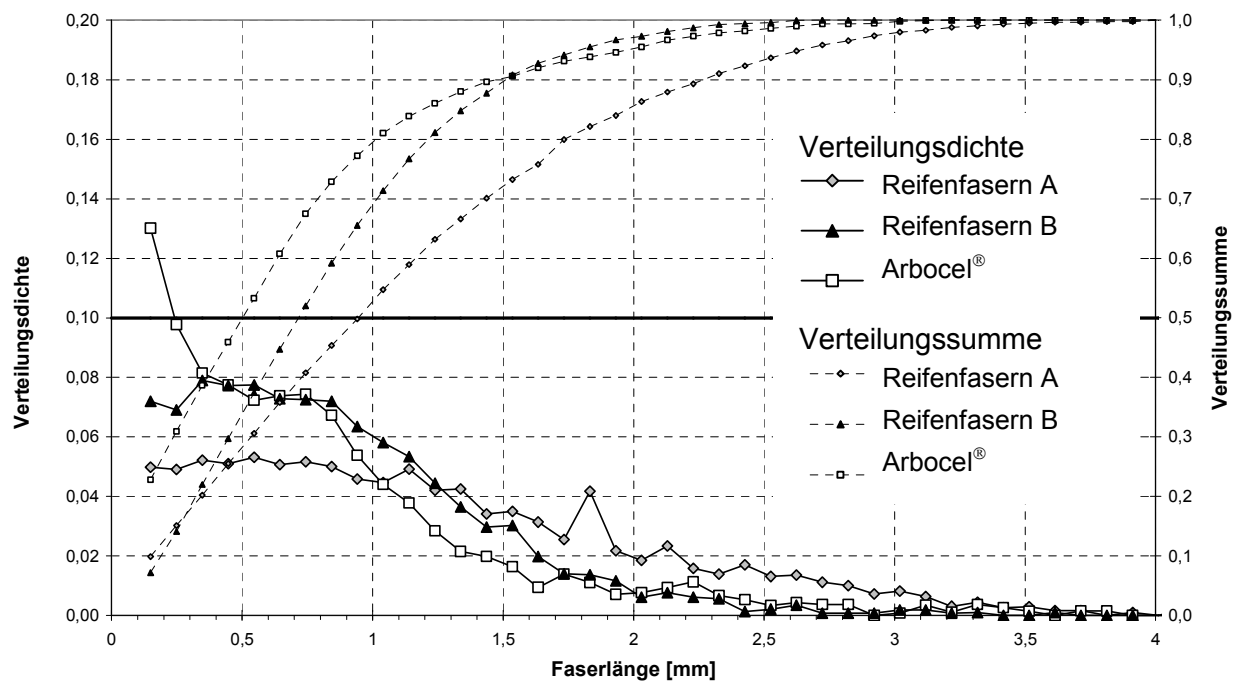


Abbildung 6 Faserlänge von Arbocel® im Vergleich zu Fasern, die aus Altreifen recycelt wurden.

Es ist offensichtlich, dass durch Substitution von Arbocel® durch Reifenfasern Vorteile erwartet werden können. Durch das konstantere Verhältnis Länge/Durchmesser kann der Armierungseffekt erhöht werden. Entsprechende Versuche im Bereich Bitumenwerkstoff sind derzeit im Lauf.

5 Zusammenfassung

Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen ist innerhalb der EU in den nächsten Jahren damit zu rechnen, dass keinerlei Altreifen mehr auf der Deponie landen. Neben dem Einsatz von Altreifen als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie, ist mit einer verstärkten Zunahme des stofflichen Recyclings zu rechnen. Die stoffliche Verwertung bietet gegenüber der thermischen Verwertung ökologische Vorteile, wie die Einsparung von Ressourcen und CO₂. Durch Entwicklung von hochwertigen Anwendungen für die Recyclingprodukte (Gummimehl und Fasern) kann die Wirtschaftlichkeit des werkstofflichen Recyclings deutlich gesteigert werden.

Anhand von Versuchen konnte gezeigt werden, dass Reifenmehle ausgesprochen positive Effekte zeigen, wenn sie als Zusatz zu Bitumen im Straßenbau eingesetzt werden.

Folgende Vorteile gegenüber herkömmlichem Asphalt bestehen:

- die Lebensdauer von Straßenbelägen kann in etwa verdoppelt werden
- deutlich reduzierte Wartungskosten
- spürbar reduzierte Häufigkeit von Baustellen, daher weniger Staus und Umleitungen
- merkliche Verminderung der Lärmemission
- erhöhte Verkehrssicherheit durch wesentlich weniger Spurrillen und Risse
- die Möglichkeit, auch stark geschädigte Straßenbeläge ohne aufwendige Sanierung des Unterbettes zu erneuern
- leichtere Schnee- und Eisräumung, da Gummiasphalt wesentlich hydrophober ist, als herkömmlicher Asphalt
- weniger Frostaufbrüche (hydrophob)

Erste Versuche mit den Recyclingfasern zeigten eine Vergleichbarkeit mit handelsüblichen Faserprodukten für die Asphaltindustrie. Aufgrund des hervorragenden Eigenschaftsprofils der Recyclingprodukte können diese im Asphaltbereich Fuß fassen. Dies ist durch Anwendungsversuche zu bestätigen. Ein Einsatz in diesem Bereich ist aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, da relativ teure Produkte substituiert werden können.

6 Danksagung

Diese Arbeit wird durch den Forschungsförderungsfonds für die Gewerbliche Wirtschaft (FFF Projektnummer 808239) und die Gummiverwertungsges. m. b. H. (GVG) finanziert. Spezieller Dank gilt Hrn. Mag. Thomas Danner und Hrn. Dipl.(HTL)-Ing. Thomas Schinking von GVG für die gute Zusammenarbeit.

7 Literatur

- | | | |
|---------------------|------|--|
| ARBIT | | Bitumen in unserer Welt, Arbeitsgemeinschaft der Bitumen-Industrie e.V., http://www.arbit.de/html/biuw042.htm |
| BUWAL | 2001 | Information zur Entsorgung von Altreifen (Altpneus), BUWAL Bundesamt für Umwelt, Ittgen (Schweiz) |
| Continental | 2000 | Grundlagen LKW-Reifen, Continental AG Hannover (http://www.conti-online.com/generator/www/de/de/continental/transport/themen/downloads/download/reifengrundlagen_pdf_de.pdf) |
| G.E.P. Tourtollet | 2001 | More reliable, more accurate, and less expensive
lpw 1, 10-14, 2001 |
| G. Li
G. Garrick | 2004 | Waste tire fiber modified concrete, |

- J. Eggers
C. Abadie
M.A. Stubblefield
S. Pang
Composites, Part B: Engineering, 35B, 305-312
- H. Celanese 1991 Chemiefasern/Textilindustrie, 41./93 Jahrgang
- J. Brandrup 1998 Wieviel Kunststoffrecycling können wir uns leisten?
Kunststoffe 10, 1778-1782
- K. Reschner 2003 Altreifen – Recycling, Teil 1: Derzeitige Situation, Beurteilung verschiedener Entsorgungsverfahren;
<http://home.snafu.de/kurtr/str/de.html>
- Michelin <http://www.michelin.de/de/ImageServlet?imageCode=15526&codeSite=ALLEMAGNE>
- NRZ 2004 Altreifen – mehr als nur Abfall, Neue Reifenzeitung 1/2004
- NRZ 2003 Problemfeld Altreifen, Neue Reifenzeitung 1/2003
- NRZ 2002 Runderneuerte Reifen: Besser als ihr Ruf
Neue Reifenzeitung 10/2002
- R. Passas
C. Voillot
G. Tarrajat
G. Caucal
B. Khelifi
G.E.P. Tourtollet
2001 Morfi as a novel technology for morphological analysis of fibers,
Recents Progres en Genie des Procedes 15, 259-264
- S. Krömer
E. Kreipe
D. Reichenbach
R. Stark
1999 Produkt-Ökobilanz eines PKW-Reifens, Produkt Ökobilanz gemäß
DIN EN 14040 ff, Continental AG, Hannover, http://www.conti-online.com/generator/www/com/de/continental/portal/themen/esh/oekobilanz/download/oekobilanz_de.pdf
- U. Mielicke
D. Schlag
2002 Entsorgung von Altreifen in Baden-Württemberg
Situationsbericht 03/2002, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

Anschrift der VerfasserIn(en)

Dr. Andreas Bartl

Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik

Getreidemarkt 9/161

A-1060 Wien

+43 1 58801 15981

email: abartl@mail.zserv.tuwien.ac.at