

Projekt

Herstellung von ultrafeinen Gummimehlen durch Schockzertrümmerung von Elastomerbauteilen und stoffliche Wiederverwertung in polymeren Hochleistungswerkstoffen.

Problemstellung

Angesichts der großen Mengen an Elastomerbauteilen die durch Verschleiß und Ermüdung jährlich dem volkswirtschaftlichen Nutzungskreislauf entzogen werden (in Deutschland ca. 1 Mio t/Jahr) sowie vor dem Hintergrund der absehbaren Verknappung fossiler Rohstoffe erlangt die Wiederverwertung von Altgummi einen hohen Stellenwert.

Problemlösungen werden durch die chemische Vernetzung der Kautschuke erschwert. Verfahren die polymere Strukturen abbauen wie z.B. Pyrolyse, Vergasung etc. haben bislang keine nennenswerte Markteinführung erlangt. Der chemische Aufschluss von Altgummi mit speziellen Reagenzien (z.B. org. Basen) unter gleichzeitiger Einwirkung von mechanischen Kräften (Scherfeld, Ultraschall) führt zu Produkten die anteilig in Frischmischungen eingesetzt werden und neben einer erheblichen Umweltbelastung die erforderlichen Leistungsgrenzen nicht erreichen.

Seit längerer Zeit wird versucht über verschiedene Malverfahren hergestellte Gummimehle in Frischmischungen einzuführen. Hier schließt jedoch die hohe Korngröße des Mahlguts die Herstellung von anspruchsvollen und wettbewerbsfähigen Elastomerbauteilen aus.

Aus eigenen Vorarbeiten ist bekannt, dass der entscheidende Parameter für einen erfolgreichen Einsatz von Gummimehl eine Korngröße ist, die um einen Faktor 5-10 kleiner ist als jene die mit heutigen Mahlverfahren (Warm- und Kaltmahlen) erreicht werden kann. Weiterhin ist die chemische Zusammensetzung der Oberfläche und die Rauheit der Partikel von Bedeutung. Aus eigenen Vorarbeiten ist ebenfalls bekannt, dass mit Hilfe von Schockwellen eine effektive Zerkleinerung auf eine Korngröße möglich ist, die nach dem heutigen Wissensstand den Einsatz in frischen Compounds zu einem höheren Anteil erlauben kann, ohne gravierende Einbußen im Eigenschaftsniveau des Elastomerbauteils zur Folge zu haben.

Demnach besteht die Möglichkeit ein ultrafeines Gummimehl über Schockwellenzertrümmerung herzustellen und dieses Produkt in größeren Anteilen in frischen Compounds zu verarbeiten.

Projektziel

Ziel des Projekts ist es, auf den o.a. Vorarbeiten und Ergebnissen aufbauend, ein Verfahren zu entwickeln welches mit Hilfe von Schockwellenzertrümmerung ultrafeine Gummimehle mit einer mittleren Korngröße $< 25 \mu\text{m}$ herzustellen. Das Verfahren soll unabhängig von der ursprünglichen Zusammensetzung des Altgummis einsetzbar sein. Die ultrafeinen Gummimehle sollen in größeren Anteilen in polymeren Werkstoffen (Elastomere, thermoplastische Elastomere und Thermoplaste) einsetzbar sein.

Das angestrebte Verfahren soll sich von den Mahlverfahren dadurch unterscheiden, dass die mechanische Wirkung durch die hohe Geschwindigkeit und den Druck der Schockwelle bei

geeigneter Temperatur erreicht wird, so dass die Zertrümmerung im dynamischen Glasszustand des Altgummis erfolgt.

Die Schockwellen sollen durch Funkenentladung in einem Fluid entsprechender Dichte und Stabilität in einem elektrischen Hochspannungsfeld erzeugt werden. Im Rahmen des Projekts sollen die verfahrenstechnischen Parameter des Zertrümmerungsprozesses erforscht werden und im Labormaßstab das optimale Arbeitsfenster für die Herstellung von Gummimehlen mit möglichst geringer Korngröße in einer diskontinuierlichen Arbeitsweise zu definieren. Es soll dann versucht werden dieses auf eine zu entwickelnde Pilotanlage zu übertragen, die jedoch noch keinen Produktionsmaßstab darstellt. Damit sollen auch Prozessabläufe untersucht und entwickelt werden um den Materialdurchsatz zu steigern, die Reproduzierbarkeit und Qualitätskonstanz zu gewährleisten und den Prozess bedienungsfreundlich zu machen.

Als Ausgangsbasis für diese Untersuchungen sollen vor allem hochpreisige Elastomerabfälle betrachtet werden (FKM, FFKM, HNBR, EPDM u.a.), die sich gleichzeitig durch eine relativ hohe Glassumwandlungstemperatur auszeichnen. Es soll darüber hinaus überprüft werden bis zu welchem Anteil aus Altreifen hergestellte ultrafeine Gummimehle in Reifenlaufflächen eingesetzt werden können.

Bei der technologischen Evaluierung der Mehle durch das DIK und HLW und der Abschätzung des Marktpotentials durch HLW sollen sowohl physikalisch-technische als auch ökonomische Kriterien berücksichtigt werden.

Auf eine zusätzliche Extraktion des Ausgangsmaterials mit überkritischem CO₂ sowie eine gezielte Modifizierung der Oberfläche der resultierenden Gummimehlpartikel (Funktionalisierung) soll, abweichend von der ursprünglichen Planung, nicht vorgenommen werden.

Mit diesem Projekt sollen Grundlagen geschaffen werden, um anschließend bei HLW über einen Scale-up Schritt das Verfahren auf den Produktionsmaßstab zu überführen. Diese Weiterentwicklung ist nicht Gegenstand des hier beschriebenen Projekts.

1.1. Stand der Technik und eigene Vorarbeiten

Die Europäische Union rechnet pro Jahr mit einem Altreifenaufkommen von ca. 2,5 Mio t. Hinzu kommen ca. 2 Mio t an Elastomerbauteilen, die in Fahrzeugen, Haushaltsgeräten und Industrieanlagen eingesetzt wurden. Durch die chemische Vernetzung der Elastomere können gebrauchte Bauteile nicht ohne weiteres umgeformt und wieder in den Nutzungskreislauf eingebracht werden. [1] Vor diesem Hintergrund ist das Recycling von Altgummi ein chemisch wie verfahrenstechnisch schwieriger Problemkreis. Lösungen müssen aufgrund von Gesamtökobilanzen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten erarbeitet werden. Ein moderner PKW-Reifen besteht zu ca. 55 - 60 % aus Kohlenwasserstoffpolymeren (NR, SBR, BR). Diese Polymerbasis ist zu Gewährleistung der Gebrauchseigenschaften mit 25 - 30 % Ruß gefüllt und enthält eine Vielzahl von Verarbeitungshilfsmitteln, Vulkanisierchemikalien sowie als Festigkeitsträger Stahlcord und Gewebe.

Die Komplexität des Produktes erfordert eine mechanische Zerkleinerung und Trennung der rußgefüllten Kautschukbestandteile mit hohem Brennwert von den Festigkeitsträgern. Aufgrund des hohen Energiegehaltes [2,3], gegeben durch ihre chemische Zusammensetzung, werden Altreifen durch Hochtemperaturverbrennung in Zementfabriken, Kraftwerken und Papiermühlen in Mitteleuropa, [4] Japan [5] und vermehrt auch den USA [6]

entsorgt. Damit soll ca. die Hälfte des derzeit anfallenden Altgummis [7] einer Verwertung zugeführt werden.

Angesichts der zunehmenden Knappheit an fossilen organischen Rohstoffen wird mit steigender Stringenz die stoffliche Wiederverwertung gefordert. Hierzu sind eine Reihe von Ansätzen vorgeschlagen worden, wie das chemische Recycling, das wiederum über die Pyrolyse von Altgummi zu Ölen und rußartigen Rückständen führt [8-10] oder die Vergasung und katalytische Extraktion [11,12] niedermolekularer Verbindungen liefern kann, die zur Synthese neuer Polymere eingesetzt werden könnten.

So werden im FORMEX-PYROLYSE-VERFAHREN geschredderte Reifen in einer Metallschmelze unter Sauerstoffausschluss in 35% Pyrolyseöl 19% Brenngas als Reaktorheizgas mit einem Heizwert von ca. 35 MJ/Kubikmeter, 30% Pyrolyseruß und 15% Stahl getrennt. Es wird versucht den Pyrolyseruß als Füllstoff für Gummiwerkstoffe zu verwenden. Eine Akzeptanz am Markt steht noch aus. Die Zusammensetzung des Pyrolyseöls wurde eingehend untersucht. Ein hoher Gehalt (2 – 3 %) an polycyclischen Aromaölen lässt die Freigabe solcher Öle für eine Wiederverwertung sehr problematisch erscheinen. [8] Eigene Untersuchungen zum Einsatz von festen Pyrolyserückständen als partieller Ersatz von Ruß haben gezeigt, [13] dass in der Regel ein hoher Anteil an Asche die verstärkenden Eigenschaften stark mindert, die Materialien bestenfalls wenig aktiven Rußen entsprechen und die Substitution bis ca. 20 % vertretbar ist. Diese Ansätze spielen heute aufgrund ihres hohen Kostenaufwandes und geringen Wirkungsgrades eine untergeordnete Rolle. [14,15]

Die Runderneuerung von Altreifen, bei der ein hoher Anteil an Schleifmehl anfällt, wird als ökonomisch sinnvolle Teillösung besonders für LKW-Reifen angesehen, für PKW-Reifen jedoch in der Gesellschaft und von der Automobilindustrie nur bedingt akzeptiert. [16]

Im Sinne der Ressourcenschonung stellt sich das werkstoffliche Recycling durch warm- und/oder Kaltmahlen des Altgummis zu Gummimehlen, [9,17-19] die in Kautschukmischungen [20,21] oder in Thermoplasten [22,23] als Zuschlag- und Füllstoffe eingesetzt werden können als sinnvoll dar. In vielen Fällen ist allerdings eine Vorzerkleinerung und Sortierung erforderlich. Am Beispiel von Reifen, die als komplex aufgebaute Produkte mehr als 20 verschiedene Elastomerkomponenten Festigkeitsträger enthalten, ist bereits die Zerkleinerung aufwändig und teuer. Der abgetrennte Kautschukbestandteil kann alternativ zur energetischen Wiederverwertung zu Mehl oder Granulat weiterverarbeitet werden. Grob gemahlenes Altgummi (Granulate) wird für Sportböden, im Garten- und Landschaftsbau (Fußball- und Golfplätze), Ölbindemittel und als Zuschlagsstoff im Asphalt (Flüsterasphalt) eingesetzt.

Da die in gängigen Mahlverfahren erreichte mittlere Korngröße größer als 100 µm ist [20,21,24] und daraus im Bereich der rißinitiierenden Fehlstellen für bei dynamisch belasteten Elastomerbauteilen liegt, [25] ist der Verschleiß und das vorzeitige Versagen entsprechend mit Gummimehl gefüllter Bauteile vorprogrammiert, sodass diese Technik bislang zu keiner Akzeptanz für anspruchsvolle, dynamisch dauerbelastete Bauteile (z. B. Hochleistungsreifen, Antriebsselemente, Förderbänder, Motorlager etc.) gefunden hat. Ein wichtiger Aspekt neben der Korngröße ist die physikalische und die chemische Oberflächenbeschaffenheit der Mehlpartikel, die eine Phasenbindung in einer Frischmischung bestimmen. [21,24,26] Bei einer schlechten Phasenbindung wird bei

geringen Anteilen an Gummimehl eine erhebliche Beeinträchtigung der Festigkeitseigenschaften beobachtet. Beschichtungen von Gummimehlen mit Naturkautschuklatex [27] oder TOR [28] oder Funktionalisierungen [21] tragen zu einer Verbesserung der Phasenanbindung und damit zu einer höheren Festigkeit der Verbundwerkstoffe bei. Die bisherigen Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass Verbesserungen vor allem durch abnehmende Korngröße und besserer Phasenanbindung (z. B. durch Funktionalisierung der Mehlpartikel) erreicht werden. [21,26] Seit längerem wird an der elektrohydraulischen Zerkleinerung von spröden Materialien gearbeitet. [29,30] Durch eine Entladung zwischen zwei Elektroden wird eine Schockwelle erzeugt, die beim Auftreffen auf einen Festkörper eine mechanische Spannung im Material erzeugt und zum Bruch führt. Die Methode wurde vorzugsweise zur Gewinnung von Mineralien [31-33] und Zerstäuben von Kohle eingesetzt. [34] Die Methode wurde zur Zerkleinerung von polymeren Materialien u. a. Elastomeren in flüssigem Stickstoff vorgeschlagen. [35]

In der Patentliteratur wird zudem auch die Zerkleinerung von geschredderten Altreifen in speziellen Kammern durch konventionell gezündete Explosionen beschrieben. [36,37]

Der überwiegende Teil der bisherigen publizierten Problemlösungen zielt auf Altreifen und klammert den heterogenen Bereich der aus Spezialkautschuken gefertigten Elastomerbauteile aus, die mengenmäßig knapp unter den Altreifen liegen, deren Recycling jedoch ein ernsthaftes Problem darstellt. Aufgrund ihrer besonderen chemischen Zusammensetzung können solche Elastomere thermisch nicht verwertet werden (Schadstoffemissionen). Der hohe Rohstoffpreis und die speziellen Anwendungen machen jedoch eine stoffliche Wiederverwertung in arteigenen oder verwandten Matrices ökonomisch und technisch sehr attraktiv.

Als weitere Möglichkeiten der stofflichen Wiederverwertung sind zu nennen:

- Der Reclaim-Prozess der auf dem chemisch und thermisch induzierten Abbau von Polymerketten beruht und sich auf bestimmte Polymere beschränkt (z. B. Butylelastomere) [38,39]
- Das Mikrowellenverfahren bei dem durch Erwärmung intabile Schwefelbrücken gelöst werden sollen, befindet sich im experimentellen Status und hat noch keine Marktreife [40]
- Die chemische Devulkanisation beruht auf dem Versuch die Schwefelbrücken durch spezifische Reagenzien gezielt zu öffnen. Die entwickelten Ansätze haben keinen nennenswerten Marktanteil oder befinden sich noch im Versuchsstadium [41]
- Das Ultraschall-Verfahren wurde mehrfach für die Devulkanisation vorgeschlagen [42,43] hat sich bisher jedoch nicht durchgesetzt
- Der mechanische Abbau von Altgummi in Gegenwart von Devulkanisationschemikalien auf EPDM-Basis (Profile, Dichtungen) wurde von Toyota vorgeschlagen [44]
- Die bakterielle Devulkanisation durch sog. Schwefelbakterien die jedoch durch die Zugänglichkeit der Schwefelbrücken im dichten Kautschuknetzwerk für die eingesetzten Bakterien begrenzt ist. [45,46]

Durchführung der Arbeiten

Das Projektziel soll durch die Bearbeitung von drei Arbeitspaketen (AP) erreicht werden, die im DIK in enger Zusammenarbeit mit HLW durchgeführt werden.

In AP1 soll im DIK eine Laborapparatur zur Schockwellenertrümmerung von Elastomergrenulat entwickelt werden. Daran sollen die bestimmenden Parameter identifiziert und erarbeitet werden, um eine möglichst kleine Korngröße im Produkt zu erreichen. Die Laborapparatur soll in der Lage sein sowohl Granulat aus Altgummi zu zerkleinern als auch gemahlenes Kunststoffgranulat zu verarbeiten. Dabei soll auch der effektive Aktionsradius einer Funkenentladungseinheit ermittelt werden, der für die Auslegung einer größeren Anlage erforderlich ist.

In AP2 soll darauf aufbauend eine Pilotanlage konzipiert und konstruiert werden, die es ermöglicht Mustermengen an Mehl herzustellen, um den technologischen Effekt an Praxismischungen eines Verarbeiters (z.B. Gummi-Jaeger) darzustellen. Dabei sollen schwerpunktmäßig betrachtet werden: der Mengendurchsatz, die erreichte mittlere Korngröße, die Reproduzierbarkeit, die Beschickung der Anlage mit Granulat und die Abtrennung des ultrafeinen Gummimehls.

Parallel zu AP1 und AP2 soll in dem AP3 durchgehend eine morphologische Charakterisierung der unter verschiedenen Versuchsbedingungen erhaltenen Gummimehle durchgeführt werden. Proben die eine ausreichend kleine Korngröße haben sollen im Vergleich zu grobteiligen Mehlen in Konzentrationsreihen in Modellmischungen eingearbeitet werden. Diese sollen hinsichtlich ihrer rheologischen Eigenschaften und der Weiterverarbeitung sowie nach der Vernetzung bezüglich ihrer physikalischen, mechanisch-dynamischen und bruchmechanischen Eigenschaften charakterisiert werden.

AP1 Aufbau einer Laborapparatur und Untersuchung der Schockwellenertrümmerung von Elastomergrenulaten

Im DIK soll eine Apparatur aufgebaut werden, mit der die Zertrümmerung von polymeren Festkörpern im Allgemeinen und von Elastomeren im Besonderen durch Schockwellen dargestellt wird. Die Auswahl der polymeren Festkörper wird sich auf Granulate mit einer Korngröße von 1-3 mm bestehend aus FKM bzw. HNBR Elastomeren und aus PKW- und LKW-Reifenaufläufen mit bekannten Rezepturen sowie einigen Kunststoffgranulaten (mit hoher Glassumwandlungstemperatur oder Schmelzpunkt) beziehen.

Die Schockwellen sollen durch Funkenentladung in einem geeigneten Fluid erzeugt werden. Um den elektrischen Puls zu generieren sollten in einem ersten Arbeitsschritt (AS1) verschiedene Strategien erprobt werden, wie z. B. Marx Schaltkreise, pulsierende Netzwerke oder Pulstransformatoren. Angesichts der hohen Spannung (> 100 kV) ist bei dieser Entwicklung eine aufwändige elektrische Isolation zu betreiben. Die Auswahl soll bei für wenige Fluide und Temperaturen anhand der mittleren Korngröße erfolgen.

Nach der Auswahl des geeigneten Funkenentladungsverfahrens, soll in AS2 die Beschaffenheit und Geometrie der Elektroden untersucht werden um bei optimalem Abstand, Form und Material der Elektroden den höchsten effektiven Aktionsradius, bzw. die geringste Teilchengröße und Teilchenumsatz zu erzielen. Der Aktionsradius der Schockwelle

hängt von der Dichte des Fluids ab und ist erforderlich um den Raumbedarf einer Entladungseinheit zu bestimmen. Aufgrund der erreichten Zerkleinerung soll die Vorschrift für die geeignete Strategie der Schockwellenertrümmerung ausgewählt und im Folgenden optimiert werden.

Für die Schockwellenausbreitung werden in AS3 eine Reihe von dichten Fluiden (z. B. Wasser) ausgewählt und eingehender getestet. Die Auswahl der Fluide erfolgt aufgrund ihrer elektrischen und thermodynamischen Eigenschaften. Neben Wasser sollen Fluide mit niedrigem Schmelzpunkt getestet werden, um das Verfahren für für Elastomere mit tiefer Glassumwandlungstemperatur (-60 °C bis – 80 °C) zugänglich zu machen. Weiterhin sind die spezifische Wärme, die Verdampfungswärme sowie die Dichte des Fluids und des Dampfes von Bedeutung. Da die Quellung des Fluids im Gummigranulat zu einer Absenkung der Glassumwandlungstemperatur des Elastomeren führt, sollten Fluide mit einer hohen Quellfähigkeit ausgeschlossen werden. Ebenfalls ist ein ausreichender elektrischer Widerstand des Fluids erforderlich, um die Energiedissipation während des Aufladens zu begrenzen.

In AS4 soll überprüft werden, wie viele Entladungen in Gegenwart einer Gummigranulatcharge erforderlich sind um das zugeführte Material zu 50, 75 und 90% in ultrafeines Mehl zu überführen. Dabei soll auch geklärt werden, inwiefern ionische Inhaltsstoffe die aus dem Granulat ausgelaugt werden und zu einer erhöhten Leitfähigkeit im Fluid führen, den Prozess einschränken. Dafür sollen Granulate mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Vernetzungssystem eingesetzt werden.

Der Umsatz an Gummimehl und die mittlere Korngröße werden in AS5 in Abhängigkeit der Prozessparameter (angelegte Spannung, Elektrodengeometrie, Temperatur) untersucht.

In AS6 soll durch wiederholte Entladungen der Grad der Zerkleinerung gesteuert und die Materialausbeute pro Entladung ermittelt werden.

Um dieses abzusichern sollen in AS7 Methoden entwickelt werden um das anfallende ultrafeine Gummimehl von dem Granulat zu trennen ohne, den gesamten Prozess zu unterbrechen. Damit soll die Grundlage für den Aufbau und Betrieb einer Pilotanlage erarbeitet werden, die es ermöglicht größere Mengen an ultrafeinem Mehl aus den jeweiligen Elastomertypen im diskontinuierlichen oder im Kaskadenverfahren herzustellen.

Die in den aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten erhaltenen Gummimehle werden in AP 3 morphologisch charakterisiert.

Für AP1 sind Investitionsmittel erforderlich.

AP 2 Aufbau und Entwicklung einer Pilotanlage

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus AP1 soll zunächst in enger Zusammenarbeit mit HLW eine diskontinuierlich arbeitende Pilotanlage am DIK konzipiert und konstruiert werden. In AS1 werden die wesentlichen Parameter (Funkenentladungsverfahren, Elektrodengeometrie und –material, effektiver Aktionsradius der Schockwelle) verwertet, um in der Pilotanlage mehrere Entladungseinheiten unterzubringen und so die Herstellung von ultrafeinem Gummimehl in technisch relevanten Losgrößen zu ermöglichen. Nach dem Aufbau der Pilotanlage (AS2) soll im nächsten Schritt (AS3) die Beschickung mit Granulat, der

Mengendurchsatz die Separierung des Malguts untersucht werden, um die Konfiguration und Dimensionierung der Pilotanlage zu optimieren. Die Zuführung des Granulats soll in Abständen erfolgen, die einen effektiven Abbau der Granulatteilchen im effektiven Aktionsradius einer Entladungseinheit erlauben. Die optimale räumliche Anordnung mehrerer Entladungseinheiten im Fluidbecken soll eine Grundlage für einen höheren Massendurchsatz bilden. In AS4 soll die Beschickung der Anlage mit Granulat mit der Separierung des Mahlguts synchronisiert werden. Aufgrund der kleinen Stokes-Radien und der geringen Dichte des Elastomeren ist davon auszugehen, dass die Sedimentation der Teilchen langsam erfolgt. Zunächst soll das Mahlgut in nichtproduktiven „Zwischenphasen“ durch bewegliche Siebe von den größeren Anteilen separiert werden.

Diese Erfahrung nutzend, soll in AS5 einerseits das diskontinuierliche Verfahren im Pilotmaßstab verbessert und andererseits die für ein Kaskadenverfahren oder ein kontinuierliches Verfahren mit der Anlage erarbeitet werden.

Die Erprobung der Pilotanlage wird in enger Zusammenarbeit mit der HLW durchgeführt. Zum Ende des Projektes sollen in AP2 Proben aus der Produktion eines kautschukverarbeitenden Betriebs untersucht werden. Sie stammen aus Produktionsabfällen mit bekannter Zusammensetzung und sollen als ultrafeines Gummimehl in Frischmischungen mit derselben Zusammensetzung zu unterschiedlichen Anteilen eingesetzt werden. Das erzielte Mahlgut soll in AP3 getestet werden. Es ist beabsichtigt die ultrafeinen Gummimehle auch in Fremdmischungen einzusetzen um den Effekt der Korngröße und der Verträglichkeit zu untersuchen.

Das in den verschiedenen AS angefallene Mahlgut wird nach Trocknung in AP3 charakterisiert.

Zur Durchführung dieses Arbeitspakets sind Investitionsmittel erforderlich.

AP 3 Charakterisierung der Mehle

Das AP3 begleitet die Entwicklungsarbeiten während des gesamten Projekts. Die in AP 1 und AP 2 erhaltenen Gummimehle werden im Rahmen dieses Arbeitspakets hinsichtlich ihrer Morphologie und ihrer Wirkung in Kautschukmatrices analysiert. Die Morphologie soll mittels Siebanalyse und lichtmikroskopischen Untersuchungen erfasst werden. Bestimmt werden die Korngröße und Korngrößenverteilung in Abhängigkeit der eingesetzten Prozessparameter. Hierfür wird auf im DIK entwickelte Verfahren zurückgegriffen, die die Korngrößenverteilung in dünnen Filmen transparenter Kautschukmischungen erfassen. Die Ergebnisse werden mit den Prozessparametern in Beziehung gesetzt, um relevante Prozessgrößen in AP 1 und AP 2 hinsichtlich der mittleren Korngröße der Mehle zu optimieren und leisten einen Beitrag zur Auslegung der Pilotanlage. Die Arbeiten werden mit der im DIK verfügbaren Grundausstattung durchgeführt.

Erfolgsversprechende Gummimehle aus AP1 und vor allem aus AP2 mit geringer Korngröße sollen einerseits in gleichartige Kautschukmischungen und andererseits in Fremdmischungen mit dem Ziel einer umfassenden Charakterisierung eingearbeitet werden.

Die im Innenmischer unter konstanten Bedingungen hergestellten Konzentrationsreihen sollen im unvernetzten Zustand auf ihre rheologischen Eigenschaften und das Verarbeitungsverhalten untersucht werden. Es soll gezeigt werden wie die Art und Anteil an ultrafeinem Gummimehl die Viskosität und das Verarbeitungsverhalten gegenüber Referenzmischungen verändert.

Das Vernetzungsverhalten der Mischungen wird im Rheometerversuch nach Standardverfahren untersucht. Die physikalisch mechanische Untersuchung der vernetzten Systeme soll über das Zug-Dehnungsverhalten die Festigkeit, Reißdehnung und Spannungswerte im Vergleich zu ungefüllten Referenzvulkanisaten oder solchen die den gleichen Anteil an warm- bzw. kaltgemahlener Gummimehle enthalten. Weiterhin werden Härte und Rückprallelastizität nach DIN gemessen.

Proben mit besonders hoher Festigkeit und guter Elastizität werden auf ihr dynamisches Reißwachstum im Tear-Analyzer untersucht, um im Vergleich zu Proben die mit konventionellen Gummimehlen gefüllt sind, die Verschleißfestigkeit und Lebensdauer zu prüfen.

Darüber hinaus soll bei ölbeständigen bzw. hitzebeständigen Elastomeren der Einfluss der Mehle auf die Quellung bzw. das Alterungsverhalten geprüft werden. Es wird eine Auswahl der Prozessparameter die zu erfolversprechenden Systemen führen getroffen, um Proben für den kautschukverarbeitenden Betrieb aus dessen Produktionsausschuß herzustellen. Ebenso sollen Gummimehle mit derselben Ausgangsbasis auf der Labor- und der Technikumsanlage hergestellt und im Vulkanisat verglichen werden. Verbundwerkstoffe auf Kunststoffbasis sollen hinsichtlich ihres Zug-Dehnungsverhaltens und der Schlagzähigkeit geprüft werden.

Anhand dieser Charakterisierung soll gezeigt werden bis zu welchem Grad ultrafeine Gummimehle in arteigene Mischungen eingearbeitet werden können ohne dass Leistungseinbußen im Vergleich mit originären mehlfreien Vulkanisaten auftreten. Weiterhin sollen auch die für die Markteinführung erforderlichen Vorteile der ultrafeinen Gummimehle im Vergleich zu herkömmlichen warm- oder kaltgemahlenden Gummimehlen aufgezeigt werden.

Kostenplan

Für die Durchführung der Arbeiten am DIK werden zwei Jahre angesetzt. Die Untersuchungen werden von wissenschaftlichen Mitarbeitern und Techniker durchgeführt. Der nach Stundensatz und Umfang der Leistung berechnete Kostenplan ist in Tabelle 1 angeführt.

Literatur

- [1] U. Schmidt und D. Reinke, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 45 (1992) 660
- [2] U. Schmidt und E. Kreipe, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 48 (1995) 244
- [3] T. E. Lash, *Rubber and Plastic News*, Mai (1990) 29
- [4] J. Bergh, R. O. Simpson, *Tyretch '91 Conference*, Berlin, 24.-25.10. (1991)
- [5] K. Nishimura, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 46 (1993) 989
- [6] A. L. Eastman, ACS, Rubber Division, Orlando, FL., Okt. (1993)
- [7] J. Dunn, ACS, Rubber Division, Orlando, FL., Okt. (1993)
- [8] W. Kaminsky, H. Rößler und H. Sinn, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 44 (1991) 846
- [9] H. Schnecko, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 27 (1974) 526
- [10] A. Gärtner, Patent: Pyrolyse-Verfahren und -Vorrichtung, DE 102005059885A1 (2006)
- [11] K.-H. Repenning, GAVS, Frankfurt, Sept. (1993)
- [12] G. Menges und V. Lackner, in „Recycling von Kunststoffen“, Carl Hanser Verlag, München, Wien (1992) 303 ff.
- 13] H. Geisler, R. H. Schuster, IRC '06, Lyon, 16.-18.05. (2006)
- [14] V. Williams, *Eur. Rubber J.*, Aug. 24 (1993)
- [15] D. Shaw und L. White, *Eur. Rubber J.*, Nov. 24 (1992)
- [16] R. Stark, *Tyretch Conference '94*, München, Okt. (1994)
- [17] R. Kohler, J. O'Neill, *Gummi, Fasern, Kunstst.* 5 (1998) 432
- [18] G. Capelle, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 45 (1992) 500
- [19] M. Rouse, *Rubber World* 206 (1992) 25
- [20] A. A. Phalke et al. *Rubber Chem. Technol.*, 47 (1984) 19
- [21] A. Spittel and R. H. Schuster, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 47 (1994) 896
- [22] R. P. Burford und M. Pittolo, *Rubber Chem. Technol.* 55 (1982) 1233
- [23] H. H. Le, et al. *Kautsch. Gummi Kunstst.* 60 (2007) 241
- [24] P. Rojalingham, J. Scharpe, W. E. Baher, *Rubber Chem. Technol.*, 66 (1993) 664
- [25] A. N. Gent, *J. Mater. Sci.*, 15 (1980) 2884
- [26] Ph. Zutavern und R. H. Schuster, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 51 (1998) 94
- [27] L. White, *Eur. Rubber J.*, Aug. 29 (1993)
- [28] K. zur Nedden, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 46 (1993) 389
- [29] Marondes, *Brit. Chem. Engin.* 12 (1967) 558
- [30] C. MacCanley et al., *Trans. Inst. Chem. Engin.*, vol 44 (1966)
- [31] Andres, *Metallurgy Review* 14 (1995) 87
- [32] Goldberger et al., *US Pat.* 4,313,573
- [33] Andres, *US Pat.* 4,540,127
- [34] Lyman, *US Pat.* 4,721,256
- [35] Collins, Deghree und Walrod, *US Pat.* 5,758,831 (2. Juli 1998)
- [36] Kammer, *US Pat.* 2,057,014 (1996)
- [37] *US Pat.* 7,523,877 (April 28, 2009)
- [38] M. Myhre, *Rubber Chem. Techn.*, 75 (2002) 429
- [39] B. Adhikari, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 53 (2000) 346
- [40] B. Vega, C. Kraushaar, N. Agulló, S. Borrós, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 61 (2008) 390
- [41] M. Hess, H. Geisler, 8. *Kautsch. Herbst Koll.*, Hannover (2008)
- [42] D. Kim, *Energy Sources*, 25 (2003) 1099
- [43] A. Tukachinsky, *Rubber Chem. Techn.*, 69 (1995) 92
- [44] K. Fukumori et al. *Kautsch. Gummi Kunstst.* 58 (2005) 405
- [45] M. Löffler et al., *Kautsch. Gummi Kunstst.* 48 (1995) 454
- [46] A. Linos und A. Steinbüchel, *Kautsch. Gummi Kunstst.* 51 (1998) 496