

Technologisches Gutachten zum Thermolyse-Verfahren für Altreifengummi der Pyrum Innovations ESC GmbH (Zu- sammenfassung)

- November 2015 -



Autor: Prof. Dr.-Ing. Henning Bockhorn

Dieses Gutachten wurde auf Anfrage der Pyrum Innovations ESC GmbH, Dieselstraße 8, 66763 Dillingen/Saar, vertreten durch den Geschäftsführer, Herrn Pascal Klein, erstellt.

Der Verfasser des Gutachtens, Professor Dr.-Ing. Henning Bockhorn, war von 1995 bis 2009 Leiter des Instituts für Chemische Technik (ab 2004 Institut für Technische Chemie und Polymerchemie) der Universität Karlsruhe (TH), ab 2009 Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Professor Bockhorn war darüber hinaus von 1998 bis 2013 Leiter des Bereichs Verbrennungstechnik im Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe (TH), ab 2009 KIT. Verbunden mit dieser Position war die Leitung der Forschungsstelle für Brandschutztechnik sowie die Leitung der Forschungsstelle des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) am Engler-Bunte-Institut.

Ein Arbeitsgebiet von Prof. Bockhorn ist die Pyrolyse und (Wieder-)Verwertung von künstlichen und natürlichen Polymeren. Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Arbeiten in diesem Arbeitsgebiet sind dokumentiert in zahlreichen Diplom- und Promotionsarbeiten sowie Patenten und Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften mit Begutachtungsverfahren. Prof. Bockhorn war von 2000 bis 2007 Mitglied des Editorial Board der Zeitschrift „Journal of Analytical and Applied Pyrolysis“ und in dieser Funktion in die internationale Scientific Community im Gebiet der Pyrolyse maßgeblich eingebunden. Prof. Bockhorn war Organisator des “Third International Symposium on Feedstock Recycling of Plastics and Other Innovative Recycling Procedures“, Karlsruhe, 25 – 29 September 2005, und eingeladener Vortragender bei einer Reihe von internationalen Tagungen auf dem Gebiet der Pyrolyse und des Recycling von Polymeren.

Die fachliche Qualifikation von Prof. Bockhorn zur Erstellung des angefragten Gutachtens ist somit zweifelsfrei gegeben.

Die vorliegende Fassung ist die Zusammenfassung eines ausführlichen Gutachtens um Umfang von 22 Seiten mit den Abschnitten

1. Aufbau und Zusammensetzung von KFZ-Reifen
2. Aufkommen an Altreifen in Deutschland/Europa
3. Die unterschiedlichen Verwertungspfade für Altreifen
4. Die Pyrolyse-Prozess der Pyrum Innovations ESC GmbH
5. Zusammenfassung

Literaturangaben

Das ausführliche Gutachten liegt dem Unternehmen Pyrum Innovations ESC GmbH vor.

Zusammenfassung

- Altreifen bestehen aus einer Vielzahl von Einzelteilen mit unterschiedlichen chemischen/mechanischen Eigenschaften. Für Verfahren zur Verwertung von Altreifen ergeben sich auf Grund der stofflichen und chemischen Vielfalt der Reifenbestandteile und der Stellung der Altreifen und Verwertungsprodukte in der Wertschöpfungskette besondere Anforderungen. Hierbei muss insbesondere die Konkurrenz zur gemeinsamen Rohstoffbasis Erdöl einbezogen werden.
- Das gesamte Aufkommen an Altreifen in Europa liegt gegenwärtig bei ca. 3,3 Millionen Tonnen von denen etwas mehr als 1,2 Millionen Tonnen energetisch und etwas mehr als 1,3 Millionen Tonnen stofflich verwertet werden. Ungefähr 260.000 Tonnen werden über die Runderneuerung einer weiteren Nutzung als Reifen zugeführt. Die gesamte Menge an energetisch und stofflich verwerteten Altreifen hat in Europa von 1994 bis 2010 etwa um den Faktor 5 auf mehr als 2,5 Millionen Tonnen zugenommen.
- Das Aufkommen an Altreifen in Deutschland bzw. auch Europa stellt eine bedeutende und nicht zu vernachlässigende Ressource sowohl für in der Wertschöpfungskette relativ hoch stehende Stoffe als auch für Energie dar. Insbesondere liegen in der Automobil-, Reifen- und Gummiindustrie verstärkt Bemühungen vor, die in Automobilen enthaltenen Elastomeren durch Demontage und Materialrecycling zu verwerten.
- Für die Verwertung von Altreifen haben sich drei wesentliche etwa gleich große Verwertungspfade etabliert: Die *Wiederverwendung* als Elastomereprodukte, sowie die *stoffliche Nutzung* und die *energetische Nutzung*. Auf Deponien werden Altreifen in Deutschland nicht mehr abgelagert.
- Ergebnisse einer „life cycle analysis“ (LCA) für die energetische und stoffliche Verwertung von Altreifen demonstrieren, dass die Verwertung von Altreifen durch Nutzung der gummiartigen Eigenschaften und zur Substitution von Primärgummi gegenüber der energetischen Verwertung (Mitverbrennung in Zementwerken) ökologisch leicht überlegen ist. Ähnliches ist für den Vergleich des Verwertungspfad „Pyrolyse“ von Gummigranulat zu erwarten, da die Pyrolyseprodukte (Pyrolyse-Koks, Pyrolyse-Öl und Pyrolyse-Gas) bei einer weiteren Nutzung zu einer entsprechenden Einsparung beim fossilen Energieaufwand führen würden. Die Verwertung von Gummigranulaten durch Pyrolyse erscheint daher als aussichtsreicher, ökologischer und zukunftsfähiger Verwertungspfad.
- Die Pyrum Innovations ESC GmbH hat in den letzten Jahren ein Pyrolyseverfahren für Altreifen entwickelt, das insbesondere für Gummigranulat hervorragend geeignet ist. Bei diesem Verfahren werden sehr vorteilhaft die bei den üblichen technischen Pyrolysereaktoren auftretenden Probleme der Wärmeübertragung und Dichtigkeit, die die technische Realisierung und Anwendung bisher gehemmt haben, gelöst. Das Problem der Dichtigkeit wird dadurch umgangen, dass der Reaktor keine bewegten Teile und Durchführungen enthält, deren Abdichtung nach außen Probleme bereiten würde. Das Altreifen-Granulat wird aus einem großvolumigen Vorratsbehälter über einen Zellrad-

schleuse, die zwischen zwei Schiebern platziert ist, zugeführt. Der Reaktor ist ein stehender Zylinder mit konischem Einlauf- und Auslaufteil, der als Rieselreaktor ausgebildet ist. Die Granulatschüttung bewegt sich durch die Schwerkraft nach unten, so dass durch den Zu- und Abfluss des Feststoffes eine definierte Reaktionszeit eingestellt werden kann. Der Abfluss wird ebenfalls durch eine zwischen zwei Schiebern eingebaute Zellradschleuse eingestellt. Die gasförmigen Produkte (Pyrolysegase und bei Reaktionstemperatur gasförmige Pyrolyseöl) werden in der Mitte des Reaktors durch einen Hohlzylinder mit ringförmig angeordneten kegelförmigen Glocken abgesaugt. Der hierfür notwendige Unterdruck wird zweistufig durch Venturidüsen in einen Kreislauf aus prozesseigenem Pyrolyseöl erzeugt. Die Wärmeübertragung wird durch elektrische Beheizung realisiert. Hierfür dienen radial in den Reaktor hineinragende Kassetten, in die Hochtemperaturheizelemente montiert sind. Solche Taschen sind in fünf Ebenen entlang der Reaktorhöhe angeordnet, so dass die Wärmeübertragungsfläche verglichen mit der Außenwand des Reaktors etwa um den Faktor 10 erhöht ist. Durch diese große Wärmeübertragerfläche können hohe Wärmestromdichten realisiert werden, ohne große Temperaturdifferenzen zwischen der Heizfläche und dem Einsatzgranulat aufrechterhalten zu müssen. Hierdurch können im zu pyrolysierenden Granulat annähernd isotherme bzw. für die Pyrolysereaktionen günstige Verhältnisse in radialer und axialer Richtung aufrechterhalten werden. Ablagerungen, die sich während der Pyrolyse an den Heizkassetten und andern Einbauten bilden können, können in Wartungsphasen der Anlage leicht durch Abbrennen mit Luft beseitigt werden. Bei dieser Art der Wärmeübertragung wird ein prozessfremder Wärmeträger, wie z.B. bei Sandwirbelschichten oder den Doppelschneckenreaktoren mit Sand als Wärmeträger, vermieden, der sich bei der Trennung des Pyrolysekoks vom Wärmeträger nachteilig auswirkt. Insgesamt stellt dieses Verfahren einen Technologiesprung bei der Entwicklung von Pyrolyseverfahren dar.

- Eine Pilot- und Demonstrationsanlage mit einer Verarbeitungskapazität von 650 kg/h bis 1200 kg/h (entsprechend einer Kapazität von 5000 t/a) für Reifengummigranulat nach diesem Prinzip wurde kürzlich von Pyrum Innovations ESC GmbH in Testbetrieb genommen. Seit Mai 2015 wurden mehrere Testfahrten im 24 Stunden- und 7 Tagebetrieb störungsfrei durchgeführt. Probleme, die während der Testläufe erkannt wurden, z.B. die Notwendigkeit der Installation von vertikalen Regelkreisen für die Zuführung der elektrischen Energie, werden gegenwärtig beseitigt. Betriebszustände, die einen störungsfreien Dauerbetrieb einschränken oder verhindern würden, wurden nicht beobachtet.
- Der Energiebedarf der gesamten Anlage von ca. 150 kW kann durch die Verwertung der prozesseigenen Pyrolysegase in einem BHKW-Gasmotor mit einer elektrischen Leistung von ca. 200 kW bereitgestellt werden. Das Verfahren arbeitet somit autark hinsichtlich des Zukaufs von Fremdenergien.
- Die Qualität der Produkte Pyrolysekoks, Pyrolyseöl und Pyrolysegas bewegt sich im oberen Bereich der aus Technikums bzw. Laboranlagen aus der Literatur bekannten Werte für die Pyrolyse von Altreifen.

- Langfristiges Ziel der Pyrum Innovations ESC GmbH ist der Verkauf derartiger Anlagen. Zurzeit liegen hierfür 8 abgeschlossene Verträge für Anlagen mit jeweils 5000 t/a Leistung vor. Hiervon unterliegen 4 Verträge der Kondition der Demonstration von 1 Monat Laufzeit mit 1/12 der Jahresleistung. 4 Verträge unterliegen keinen Konditionen.

Karlsruhe, 15.11.2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'H. Bockhorn', written in a cursive style.

Prof. Dr.-Ing. Henning. Bockhorn