

Alte Reifen fein mahlen



Stefan Hoyer, Lothar Kroll

Fahrzeugreifen sind hohen Kräften und einer intensiven Verschleißbeanspruchung ausgesetzt, weshalb sie besonders widerstandsfähige Werkstoffe enthalten. Die chemische Zusammensetzung etwa der Verstärkungsfüllstoffe wird am Ende der Nutzungsdauer allerdings zum Problem für das Recycling.

Foto: t16781, Fotolia

● Reifen bestehen aus zirka neun Komponenten wie Lauffläche und Karkasse. Sie enthalten insgesamt 800 bis 900 verschiedene Substanzen (Tabelle 1).¹⁾ Der Hauptbestandteil ist Gummi, ein Elastomer. Es entsteht durch die Vulkanisation, die weitmaschige Vernetzung von Kautschuk. Jede Reifenkomponente hat abhängig von Reifenart und -modell ihre eigene, herstellerspezifische Gummirezeptur. Natur-, Isopren-, Styrol-Butadien- und Butadienkautschuk sind die am meisten verwendeten Sorten dafür.

Altreifenaufkommen

● Ein Reifen verschleißt durch Nutzung, sodass er nach etwa 50 000 Kilometern (bei Lkw nach bis zu 500 000 Kilometern) ersetzt werden muss. Im Jahr 2013 gab es in der EU, in Norwegen, in der Schweiz und in der Türkei insgesamt 2,9 Mio. Tonnen Altreifen.²⁾ Wie lassen sie sich sinnvoll verwenden? Sie zu deponieren, ist in den EU-Staaten seit 2006 verboten.³⁾ Etwa die Hälfte wird daher verbrannt,

meist in Zementwerken. Der Anteil stofflich verwerteter Reifen lag im Jahr 2013 bei 41 Prozent.²⁾

Stoffliche Verwertung

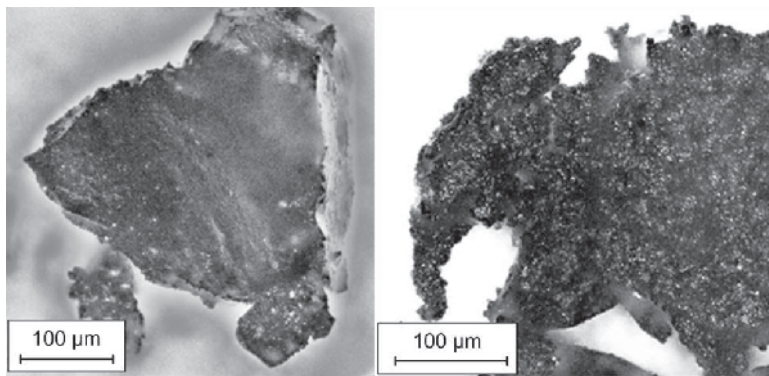
● Elastomere lassen sich aufgrund ihrer thermisch irreversiblen Vernetzung nicht mehr schmelzen, um die Komponenten erneut zu nutzen. Darüber hinaus widerstehen sie vielen Lösungsmitteln, Laugen und Säuren, was das Recycling erschwert. Daher werden sie vor allem zerkleinert: zu Granulaten mit Partikelgrößen von 1 bis 10 mm und zu Mehlen, deren Partikel kleiner als 1 mm sind.

Ein Reifen wird zunächst in mehreren Prozessstufen zerkleinert und von Fremdstoffen (etwa Cord) getrennt. Letzter Verarbeitungsschritt ist die Feinvermahlung zu Mehl, wofür sich zwei Verfahren etabliert haben: Warm- und Kryogenvermahlung.

Bei der Kryogenvermahlung kühlt flüssiger Stickstoff den Gummi unter seine Glasübergangstemperatur; er wird versprödet und anschließend durch Prall oder Schlag zerkleinert. Dabei entstehen Partikel mit glatten Bruchflächen (Abbildung S. 1108 links). Die spezifische Oberfläche ist relativ gering, was nach bisherigen Erkenntnissen

Komponente	Erklärung, Bemerkung	Gewichtsanteil [%]
Natur- und Synthetikautschuk	bis zu elf verschiedene Kautschukmischungen	38
Füllstoffe	Ruß, Silica, Kohlenstoff, Kreide	30
Festigkeitsträger	Stahl, Rayon, Nylon	16
Weichmacher	Öle und Harze	10
Vernetzungssystem	Schwefel, Zinkoxid, Beschleuniger und weitere	4
Alterungsschutzmittel	gegen Ozonwirkung und Materialermüdung	1
Sonstiges		1

Tab. 1. Zusammensetzung eines Pkw-Reifens (Conti Eco Contact CP, 195/65 R 15, 8,5 kg).¹⁾



Mikroskopische Aufnahmen repräsentativer Rezyklatpartikel aus dem Kryogen- (links) und Warmmahlverfahren (rechts).

die Rückführung in hochbeanspruchte Produkte einschränkt.

Die Warmvermahlung geschieht bei Raumtemperatur oder höheren Temperaturen. Dabei wird das Material mit hohen Scherkräften zerkleinert. Die Partikel haben eine große, zerklüftete Oberfläche und eine zerrüttete Struktur (Abbildung, rechts). Dies erleichtert oft die Einbindung in neue Werkstoffsysteme.⁴⁾

Energetische Verwertung

● Grundsätzlich hat in der EU die stoffliche Verwertung von Abfällen Vorrang vor der thermischen.⁵⁾ Seit die Heizwertklausel des Kreislaufwirtschaftsgesetzes⁶⁾ im Juni entfallen ist, ist Verbrennen auch in Deutschland nur noch unter bestimmten Voraussetzungen mög-

lich. Dazu zählt die wirtschaftliche Unzumutbarkeit einer stofflichen Verwertung.

Reifen herzustellen, benötigt viel Energie: 51 MJ·kg⁻¹.⁷⁾ Der Heizwert von Altreifen beträgt 29 MJ·kg⁻¹, sodass sich damit etwa 0,7 kg Rohöl (41,9 MJ·kg⁻¹) ersetzen lassen. Dies entspricht derzeit einem Wert von 0,20 US-Dollar (USD) pro Kilogramm bei einem Rohölpreis für die Sorte UK Brent von 51,22 USD pro Barrel, beziehungsweise etwa 57 Prozent der zur Herstellung aufgewendeten Energie. Für das Recycling der Altreifen zu Feinmehl mit Partikelgrößen kleiner als 400 µm sind 9 MJ·kg⁻¹ notwendig. Das Material lässt sich für bis zu 0,60 Euro pro Kilogramm verkaufen. Wie sinnvoll ist es also, Reifen zu verbrennen? Das Copenhagen Resource Institute jedenfalls kommt zu dem Schluss: Die stoffliche Verwertung ist in allen untersuchten Kategorien der thermischen Verwertung vorzuziehen.⁸⁾

Verwertung der Altreifenrezyklate

● Altreifengranulate werden in etlichen Sekundäranwendungen mit niedrigem Eigenschaftsniveau eingesetzt, etwa als Einstreu für Kunstrasen, Sport- und Spielplatzmatten sowie für einfache Formteile wie Wegefassungen. Dieser Absatzmarkt ist jedoch bereits stark erschlossen und mengenmäßig fast gesättigt. Zudem ist in weiten Teilen dieser Märkte der Gehalt an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Erzeugnissen

präventiv begrenzt (Tabelle 2).^{9,10)} Zwar gelten seit 2010 in der Reifenindustrie PAK-Grenzwerte für Weichmacheröle,¹¹⁾ jedoch enthält auch der Füll- und Verstärkungstoff Ruß bis zu 1000 mg·kg⁻¹ PAK, deren Gehalt auf EU-Ebene nicht geregelt ist (Tabelle 3). Altreifen enthalten daher teilweise sehr viel PAK, sodass die Verwertung zu Sekundärprodukten durch die Gesetzesänderung problematisch wird. Genaue Angaben zum PAK-Gehalt von Altreifen sind in der Literatur jedoch kaum zu finden. Daher kooperiert das Institut für Strukturleichtbau der Technischen Universität Chemnitz (TUC) mit dem Unternehmen Biochemisches Institut für Umweltcarcinogene, Großhansdorf, in den kommenden zwei Jahren, um die Höhe und Verteilungsbreite der Reifen-PAK-Gehalte zu bestimmen.

Es besteht die Gefahr, dass viele bisherige Verwertungsmöglichkeiten von Altreifen entfallen. Besonders problematisch ist dabei die Fokussierung auf den Stoffgehalt an PAK statt auf deren Bioverfügbarkeit. So bezweifelt der Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie, dass derartige Reglementierungen relevant sind. Sie seien nicht risikoadäquat, denn wie Versuche zeigten, sind PAK im Gummi weitgehend unbeweglich gebunden und somit keine Gefahr.¹²⁾

Auch eine Rückführung der Rezyklate in neue Reifen ist nur eingeschränkt möglich, denn Elastomere sind ein empfindlich reagierendes Ergebnis der Zusammensetzung. Fremde Bestandteile führen leicht zu störenden Wechselwirkungen, weshalb die Reinheit der Rezyklate ausschlaggebend ist. Altreifenrezyklate sind jedoch ein Vielstoffgemisch, dessen Zusammensetzung nicht genau spezifizierbar ist. Die Vielfalt der Reifenkomponenten sowie deren hersteller- und modellspezifischen Rezepturen verwehren eine rezepturreine Trennung. Daher werden nur geringe Mengen Rezyklat zur Herstellung neuer Reifen verwendet und meist nur für weniger sicherheitsrelevante Komponenten wie Laufflächen.

QUERGELESEN

- » Altreifen werden verbrannt oder recycelt. Sie zu deponieren, ist in der EU seit dem Jahr 2006 verboten.
- » Das Verbrennen erscheint wenig sinnvoll, da sich mit geringem Mehraufwand hochwertige Rezyklate für Sekundäranwendungen herstellen lassen.
- » Für die Verwertung von Reifenrezyklaten bereiten teils inadäquate gesetzliche Begrenzungen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in verschiedenen Anwendungsbereichen Probleme.
- » Neue Sekundärwerkstoffe und Verwertungskonzepte sollen neue Märkte für die Rezyklate erschließen.

Neue Verwertungskonzepte

Um neue, mengenmäßig relevante Absatzmärkte zu generieren, entwickeln Wissenschaftler an der TUC im Rahmen des Bundesexzellenzclusters Merge (EXC 1075) neue Werkstoffsysteme sowie die zugehörigen Aufbereitungs- und Verarbeitungstechniken. Ziel sind leistungsfähige Werkstoffe mit Reifenzyklal, welche die PAK-Grenzwerte einhalten. Im ersten Schritt soll daher eine umfangreiche statistische Analyse des PAK-Gehalts von Altreifen erfolgen. Ferner fokussiert das Projekt darauf, Feinmehle kleiner 400 µm einzusetzen, denn nur mit derart feinen Partikeln lassen sich Werkstoffeigenschaften erreichen, die denen von Primärrohstoffen ebenbürtig sind.

Vor allem die Werkstoffgruppe der Thermoplast-Elastomer-Compounds – das sind Mischungen aus thermoplastischen Polymeren, etwa Polypropylen, und Reifenzyklal – bietet einen aussichtsreichen Ansatz.¹³⁾ Das Ergebnis sind hochelastische thermoplastische Werkstoffe, die thermoplastische Elastomere ersetzen. Eine besonders schonende und energiesparende Verarbeitungstechnik für diese Werkstoffe ist die an der TUC entwickelte einstufige Direktverarbeitung. Mischung und Produktausformung werden in einem Prozess kombiniert, die sonst übliche Zwischenstufe Granulat entfällt. Das Material wird nur einmal geschmolzen, wodurch die thermische Degradation der Gummikomponente minimiert und Energie gespart wird.

Ausblick

Um zusammen mit Industriepartnern Produkte aus diesen neuen Werkstoffen zu entwickeln, gründete das Unternehmen Innovation Netzwerk Textil das Unternehmensnetzwerk Elastotech. Zu ersten Anwendungen zählen Gummiseile beim Unternehmen

Norm	Geltungsbereich	Benzo(a)pyren [mg·kg ⁻¹]	Grenzwert für PAK-Gehalt
Verordnung (EU) 1272/2013	Erzeugnisse die bei normaler Verwendung wiederholt für kurze Zeit mit Haut oder Mundhöhle in Berührung kommen	1	jeweils 1 mg·kg ⁻¹ für eine Liste von 8 PAK
EU-Verordnung Nr. 1907/2006	Weichmacheröle in Reifen	1	Summe von 10 mg·kg ⁻¹ für eine Liste von 8 PAK (analog 1272/2013)
Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) – Entwurf vom 20. Juli 2016	bauliche Anlagen, Bauteile, Bausätze und Baustoffe insbesondere Aufenthaltsräume und zugehörigen Nebenräume	5	Summe von 50 mg·kg ⁻¹ für eine Liste von 18 PAK

Tab. 2. PAK-Grenzwerte für Reifen (mit Angabe für Benzo(a)pyren als Leitsubstanz).

Matrix	Datenherkunft	Benzo(a)pyren [mg·kg ⁻¹]	PAK-Gehalt [mg·kg ⁻¹]
Ruß	Maximalwerte einer Messung von 8 Rußproben	31	87 (8 PAK) 781 (18 PAK)
Rechnerischer max. PAK-Gehalt von Reifen	Annahme: 28 % Ruß und 9 % Weichmacher	3,2	25 (8 PAK) 220 (18 PAK)
Durchschnittlicher PAK-Gehalt von Altreifenzyklal	Umweltbundesamt Verband der europäischen Reifen- und Gummihersteller	–	40 ~ 23 (20 ppm, 8 PAK)

Tab. 3. PAK-Gehalte von Reifen.

Estoma, Bodenbeläge bei MRH Mülsen und Anwendungen im Tiefbau bei Schönborner Armaturen.

Literatur

- 1) www.kfztech.de/kfztechnik/fahrwerk/reifen/reifenaufbau.htm, Zugriff am 10.09.2017.
- 2) E. Scott, End-of-life Tyre Report, *European Tyre and Rubber Manufacturers 2015, Brüssel, 2016.*
- 3) Deponierichtlinie, EU-Richtlinie 1999/31/EG, 26. April 1999.
- 4) S. Hoyer, Neuartige Warmmahltechnologie zum Recycling von Elastomeren und Analyse prozessbedingter Eigenschaften, *Technische Universität Chemnitz 2014; Dr. Hut Verlag, München 2015.*
- 5) Abfallrahmenrichtlinie, Richtlinie 2008/98/EG, Artikel 4, Abs. 1.
- 6) Kreislaufwirtschaftsgesetz, § 8, Abs. 3 (Heizwertklausel).
- 7) *Continental-Studie*, Produkt-Ökobilanz eines PKW-Reifens, Hannover 1999.
- 8) *Copenhagen Resource Institute, Force Technology, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg*, Ökobilanzieller Vergleich zweier Verwertungsalternativen für Altreifen, Viborg 2009.
- 9) Verordnung Nr. 1272/2013, EU-Kommission, 6. Dezember 2013, Anhang

- 10) Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (E MVV TB – A), Stand: 20.07.2016, Kapitel 2.3.1, S. 234.
- 11) Verordnung Nr. 1907/2006, Europäischen Parlaments und des Rats, 18. Dezember 2006, Anhang XVII, Nummer 50 Spalte 2.
- 12) Ohne Verfasser, GAK Gummi Fasern Kunststoff 2016, 69, 726.
- 13) S. Hoyer S., L. Kroll, W. Nendel et al., GAK Gummi Fasern Kunststoff 2014, 67, 752–761.

Stefan Hoyer, Jahrgang 1983, ist promovierter Ingenieur und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Strukturleichtbau an der TU Chemnitz. Sein Aufgabengebiet umfasst Kautschukverarbeitung und Elastomerrecycling. Er forscht an der sortenreinen Aufarbeitung von technischen Elastomeren, an der Aufbereitung und Verwertung von Altreifen sowie an werkstoffwissenschaftlichen Grundlagen des Elastomerrecyclings. stefan.hoyer@mb.tu-chemnitz.de



Lothar Kroll, Jahrgang 1959, leitet die Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung. Er ist Direktor des Instituts für Strukturleichtbau, Forschungsbereichsleiter „Berechnung, Simulation und Auslegung“ und Prodekan Forschung, Internationales und Gleichstellung der Fakultät Maschinenbau der TU Chemnitz.