



Recycling von Altreifen und anderen Elastomeren

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Verfahren und Anwendungen (überarbeitet im Juni 2019)

von Kurt Reschner

1. Zusammenfassung und Ausblick

Europaweit fallen jährlich ca. 4 Millionen Tonnen Altreifen an. Hiervon werden etwa 55% stofflich verwertet, wobei Gummigranulat aus Altreifen vorwiegend für die Herstellung relativ einfacher Produkte wie Matten und Formteile eingesetzt wird. Bei der Herstellung von neuen Reifen ist der Recyclinganteil mit etwa 2 bis 5% verschwindend gering. In Europa werden gut ein Drittel aller jährlich anfallenden Altreifen in Zementwerken verbrannt. Nur ein sehr geringer Anteil landet auf Deponien.

Die Technologie und die Betriebserfahrung, um den problematischen Abfallstoff Altreifen in wertvolle Rohstoffe umzuwandeln, ist seit längerer Zeit verfügbar, dennoch wird in dieser Branche insgesamt mehr Geld "verbrannt" als verdient. Der Gewinn einiger weniger erfolgreicher Unternehmen wiegt bei Weitem nicht den Verlust auf, der durch zahllose gescheiterte Projekte generiert wird. Dies liegt hauptsächlich daran, dass allzu oft in überteuerte oder schwer zu realisierende Technologien investiert wird, oder dass Produkte hergestellt werden, für welche es nur einen sehr begrenzten Markt gibt.

Der vergleichsweise geringe Anteil der stofflichen Verwertung insgesamt, vor allem aber niedrige Recyclinganteil bei der Herstellung von Neureifen legt nahe, dass es in dieser Branche noch erhebliches Entwicklungspotential gibt. Hierzu zählt einerseits die Verwendung von Recyclinggummi als Zuschlagstoff für Asphalt, was zu einer deutlichen Verlängerung der Lebensdauer des Straßenbelags und mithin zu erheblichen Kosteneinsparungen führt. Darüber hinaus könnte durch eine Weiterverarbeitung von einfachem Gummigranulat in einen höherwertigen Rohstoff gleichbleibender Qualität durch ein fortschrittliches Entvulkanisierverfahren der Recyclinganteil bei der Herstellung von Neureifen deutlich erhöht werden.

2. Über den Autor

Kurt Reschner ist ein Ingenieur für Verfahrens- und Umwelttechnik, der seit über 25 Jahren ausschließlich in der Branche Altreifen- und Gummirecycling tätig ist. Im Rahmen dieser Tätigkeit hat er weltweit unzählige Anlagen besichtigt bzw. begutachtet und zahlreiche Projekte von der konzeptionellen Idee bis zur vollen Kommerzialisierung begleitet.

Darüber hinaus führt Herr Reschner technische und kommerzielle Due Diligence für bestehenden Altreifen-Recycling-Anlagen sowie für innovative Technologien in dieser Branche durch. In den letzten zehn Jahren hat er zudem eine vertiefte Expertise in den Bereichen kryogene Feinvermahlung sowie die Entvulkanisierung erworben.

Kurt Reschner
Dipl.-Ing., M.Sc.,
Beratender Ingenieur
Tel. +49 176 48 140 240
kurt.reschner@gmail.com



Inhaltsübersicht

1. Zusammenfassung und Ausblick	1
2. Über den Autor	1
3. Einführung	3
3.1 Historische Perspektive	3
3.2 Übersicht des weltweiten Gummiverbrauchs	3
3.3 Gummi, Energie und Umwelt	3
3.4 Derzeitige Abfallmengen und Entsorgungswege für Altreifen	4
4. Verfahren zur stofflichen Verwertung von Altreifen	4
4.1 Vorzerkleinerung	5
4.2 Aufschluss und Nachzerkleinerung im Granulator	5
4.3 Feinvermahlung	5
4.4 Warmvermahlung	5
4.5 Kryogene Vermahlung	6
5. Anwendungen von Altreifen und Gummigranulat	6
5.1 Gebrauchtreifen-Export	6
5.2 Energetische Verwertung	7
5.3 Pyrolyse	7
6. Anwendungen für Granulate und Mehle aus Altreifen	7
6.1 Granulate und Mehle als Füllstoff in der Kautschukindustrie	8
6.2 Entvulkanisation	8
6.3 Gummigranulat als Zuschlagsstoff für Asphalt (Gummiasphalt)	9
6.4 Weitere Anwendungen von Recyclinggummi	11
7. Zu guter Letzt	12

3. Einführung

Altreifen sind wegen ihrer Form, Beschaffenheit und Brennbarkeit ein problematischer Abfallstoff. Die Zerkleinerung und anschließende Trennung von Altreifen in ihre einzelnen Komponenten (Gummi, Stahl und Fasern) stellt eine besondere Herausforderung dar. Andererseits ist die Technik und die Betriebserfahrung, um Altreifen auf umweltfreundliche und wirtschaftliche Weise in wertvolle Rohstoffe umzuwandeln, seit Jahren verfügbar.

3.1 Historische Perspektive

Es wird allgemein angenommen, dass die stoffliche Wiederverwertung von Altreifen und Gummiabfällen eine relativ neue Entwicklung ist, die erst in den vergangenen Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen hat. Tatsächlich aber gehen die Bemühungen, Gummiabfälle im industriellen Maßstab stofflich zu verwerten, mehr als 100 Jahre zurück.



Bild 1: Werbung eines Gummi-Recycling-Unternehmens anno 1909

Um 1910, als die Automobilindustrie ihren ersten Aufschwung erfuhr und Reifen erstmals Verbreitung fanden, wurde Naturkautschuk aufgrund der rasant ansteigenden Nachfrage zeitweilig fast so teuer wie Silber. Der sparsame Umgang mit diesem wertvollen Rohstoff sowie eine möglichst umfassende Wiederverwertung war damals schon ein Gebot der ökonomischen Vernunft. Aus dieser Zeit stammt auch die hier abgebildete Annonce einer Gummi-Lohnmühle in Leipzig.

Autoreifen wurden seither erheblich weiterentwickelt, einerseits durch den Einsatz von Synthetikgummi ab den 1930er Jahren sowie durch die Entwicklung der schlauchlosen Radialreifen in den 1970er Jahren.

Die Wiederverwertung von Gummiabfällen besteht jedoch heute wie damals aus den beiden wesentlichen Verfahrensschritten "Mahlen und Separieren" - wie bereits in dieser Anzeige sehr treffend benannt. In den 1920er Jahren lag der Anteil des in der Kautschukindustrie wiederverwerteten Gummis bei ca. 50 %. Dieser Anteil fiel um 1960 auf ca. 25 % und liegt derzeit bei ca. 2 bis 5 %.

Aufgrund des rasanten Anstiegs der Rohstoffpreise in den vergangenen zehn Jahren ist absehbar, dass die Gummiindustrie diese seit Jahren vernachlässigte Rohstoffquelle in verstärktem Maße wieder nutzen wird.

Abgesehen vom Einsatz von Recyclinggummi als Rohstoffersatz wurden in den vergangenen beiden Jahrzehnten eine ganze Reihe von innovativen Anwendungen für Gummigranulat und Gummimehl entwickelt, wie z. B. Fallschuttmatten auf Spielplätzen, Gummiformteile und Gummiasphalt.

3.2 Übersicht des weltweiten Gummiverbrauchs

Der weltweite Gummiverbrauch lag 2018 bei **29,2 Millionen Tonnen**, wobei 48% hiervon Naturkautschuk ist. Für manch einen Leser mag es überraschend sein, dass der Anteil des Naturkautschuks am weltweiten Gummiverbrauch so hoch ist, obwohl der erste Synthetikgummi bereits vor 100 Jahren entwickelt wurde. Dies liegt daran, dass es bis heute nicht gelungen ist, einen künstlichen Kautschuk zu synthetisieren, der auch nur annähernd die einzigartigen Eigenschaften von Naturkautschuk besitzt. Aus diesem Grund bestehen u.a. LKW-Reifen und PKW-Winterreifen zu einem beträchtlichen Anteil aus Naturkautschuk.

3.3 Gummi, Energie und Umwelt

Die Herstellung von Gummimischungen ist sehr energieintensiv, insbesondere wenn diese zu einem hohen Prozentsatz aus Synthetikgummi bestehen. Nachfolgend werden einige Energiekennzahlen aufgeführt.

Herstellung von Synthekautschuk (SBR)	43,3 kWh/kg
Heizwert von Altreifen	9,0 kWh/kg
Energieaufwand für die grobe Vorzerkleinerung von ganzen Reifen auf 50 - 100 mm große Chips	0,1 kWh/kg
Energieaufwand für die Zerkleinerung ganzer Reifen auf eine Korngröße von ca. 0,5 bis 1,5 mm	1,2 kWh/kg
Energieaufwand für die Zerkleinerung ganzer Reifen auf eine Korngröße von kleiner 0,4 mm	2,5 kWh/kg

Quellen: Snyder: *Scrap Tire Disposal and Reuse*; Jones: *Rubber and the Environment* sowie Berechnungen des Autors anhand von bestehenden Altreifen-Recycling-Anlagen.

Für die Herstellung einer Tonne Gummimischung, wie sie typischerweise in der Reifenindustrie eingesetzt wird, ist das Primärenergieäquivalent von etwa vier Tonnen Rohöl erforderlich.

Die oben genannten Werte verdeutlichen, warum die stoffliche Verwertung von Gummi einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung des globalen CO₂-Ausstoßes leisten kann und warum es nicht nur wirtschaftlich, sondern auch ökologisch sinnvoll ist, Altreifen stofflich zu verwerten.

3.4 Derzeitige Abfallmengen und Entsorgungswege für Altreifen

Der Markt für Gebrauchtreifen, Altreifen sowie für daraus abgeleitete Produkte ist relativ unübersichtlich.

Als einigermaßen zuverlässig gilt die Annahme, dass in industrialisierten Ländern in etwa ein Altreifen (also 8 - 10 kg) pro Einwohner und Jahr anfällt, in Deutschland wären das also ca. 650.000 Tonnen Altreifen pro Jahr.

Laut einer Veröffentlichung der European Tyre and Rubber Manufacturers Association (ETRMA) lag europaweit (EU28 +NO+CH+SR+TR) anfallende Altreifenmenge 2017 bei **3,93 Millionen Tonnen**.

Zu den Verwertungs- und Entsorgungswegen der Altreifen in ganz Europa werden von der ETRMA für 2010 die folgenden Zahlen genannt:

stoffliche Verwertung	55 %
energetische Verwertung	34 %
Landschaftsbau / Sonderanwendungen:	4 %
unbekannter Verbleib / Deponien	7 %

4. Verfahren zur stofflichen Verwertung von Altreifen

Gummi kann - im Gegensatz zu thermoplastischen Kunststoffen - nicht einfach eingeschmolzen werden. Darüber hinaus sind Reifen so gebaut, dass sie möglichst widerstandsfähig, zäh und langlebig sind. Genau diese Eigenschaften, die während der Nutzung der Reifen erwünscht sind, machen die stoffliche Verwertung von Altreifen sehr aufwendig.

Um Altreifen in ihre drei Bestandteile (Gummi, Stahl und Fasern) trennen zu können, ist eine Zerkleinerung der Gummifraktion auf eine Körnung von etwa 5 mm erforderlich. Bis zum heutigen Tage gibt es keine Maschine oder Anlage, die dies in einem einzigen Verfahrensschritt bewerkstelligen kann. Altreifen-Recycling-Anlagen beinhalten in der Regel mindestens drei Zerkleinerungsschritte, nämlich Vorzerkleinerung, Granulierung und Feinvermahlung. Zwischen diesen einzelnen Zerkleinerungsschritten werden Stahldrähte, Textilfasern und andere Fremdstoffe entfernt.

4.1 Vorzerkleinerung

Für die Vorzerkleinerung von Altreifen auf eine Korngröße von etwa 50 bis 150 mm werden vorwiegend langsamlaufende Zweiwellen-Schredder eingesetzt.

Diese Maschinen werden auch Rotorscheren genannt, weil die scheibenförmigen Werkzeuge gegeneinander rotieren und Schneiden das dominierende Zerkleinerungsprinzip ist.

Um eine definierte Korngröße zu erhalten, werden die Reifenschnitzel gesiebt und das Überkorn zurückgeführt. Trommelsiebe, Scheibensiebe, oder Rüttelsiebe werden häufig für diesen Zweck eingesetzt.

4.2 Aufschluss und Nachzerkleinerung im Granulator

Nach der Vorzerkleinerung im Schredder enthalten die Reifenschnitzel noch alle Bestandteile des Altreifens. Im Granulator wird nicht nur eine weitergehende Zerkleinerung erreicht. Genauso wichtig ist der Aufschluss der Reifenteile in die einzelnen Komponenten: Gummi, Stahl und Textilfasern.

Es gibt eine Vielzahl von Granulator-Typen auf dem Markt. Bei den meisten Granulatoren funktioniert die Zerkleinerung und der Materialaufschluss durch eine Kombination aus Schneiden, Quetschen und Reißen. Typischerweise verlässt das Mahlgut den Granulator mit einer Korngröße von 5 - 10 mm. Das Überkorn wird abgeseibt und so lange zurückgeführt, bis es die geforderte Partikelgröße (meist kleiner 5 mm) hat.

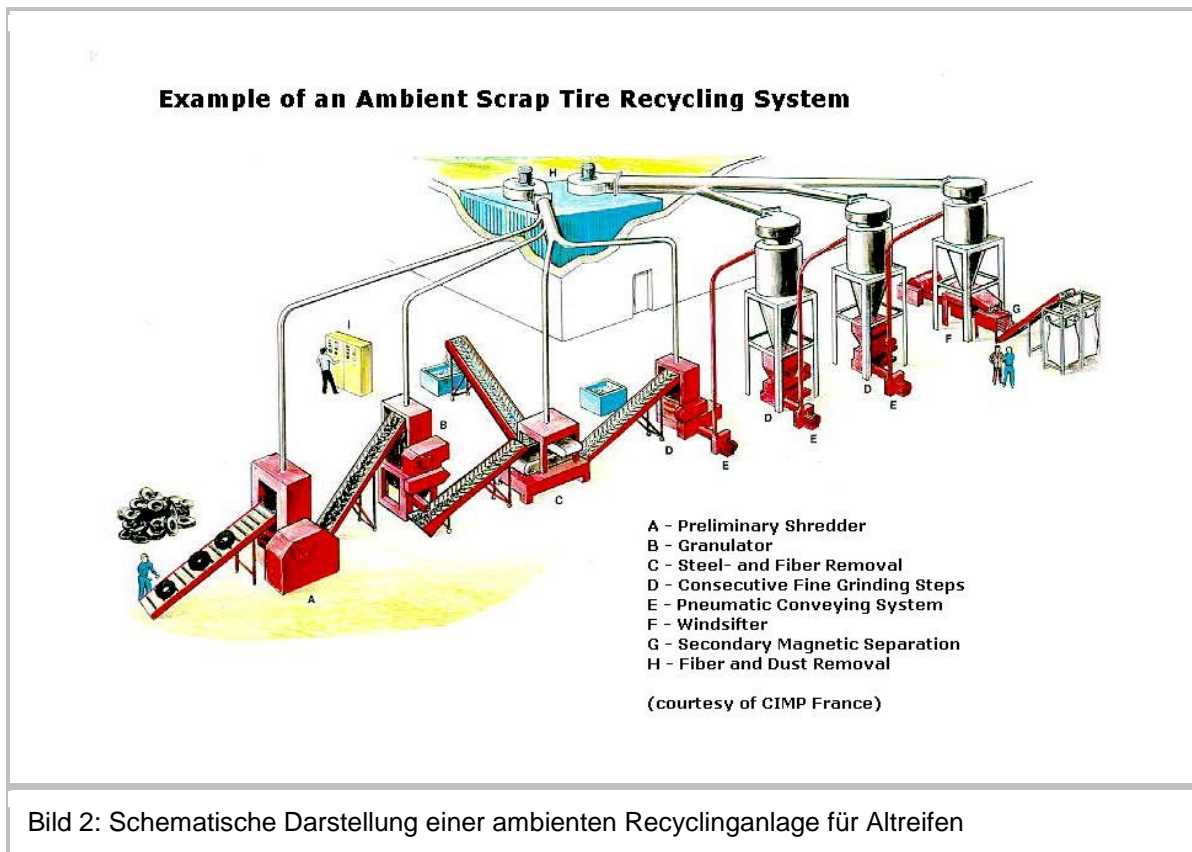
Bei einigen kryogenen Anlagen ist eine Zerkleinerung im Granulator nicht zwingend erforderlich. Hier kann das Material aufgrund der Kaltversprödung bei unter – 80 °C das Material in einer einzigen Zerkleinerungsstufe sowohl aufgeschlossen, als auch zerkleinert werden.

4.3 Feinvermahlung

Nachdem das Gummigranulat von Stahl und Textilfasern befreit wurde, muss es in aller Regel noch auf die vom Kunden gewünschte Korngröße zerkleinert werden. Zu diesem Zweck werden verschiedenste Maschinentypen eingesetzt, auf die hier nur andeutungsweise eingegangen werden kann. Unter den am häufigsten eingesetzten Maschinentypen finden sich u. a. Schneidmühlen, Rotormühlen, Refiner, und Cracker Mills. Letztere werden gelegentlich auch als „Kalander“ bezeichnet.

4.4 Warmvermahlung

Dieses Verfahren wird "warm" genannt, weil das Material bei Umgebungstemperatur zerkleinert wird, und keine besondere Kühlung zum Zwecke der Kaltversprödung eingesetzt wird. Allenfalls wird mit Kühlwasser gearbeitet, um die hohe Reibungswärme, die in der Mühle entsteht, über die Verdampfungswärme des Wassers abzuleiten.



Erläuterung zu Bild 2: Der Vorzerkleinerer (A) wird über ein Flachband beschickt. Der Granulator (B) zerkleinert die Reifenschnitzel auf kleiner 5 mm und sorgt für einen vollständigen Aufschluss des Stoffgemisches. Textilfasern und Stahl werden durch Absaugen (H) bzw. über ein Magnetband (C) entfernt. Die nachfolgenden Mühlen (D) bringen das Gummigranulat auf die gewünschte Korngröße. Das Granulat wird über ein pneumatisches Fördersystem (E) zum Windsichter (F) und zur sekundären Magnetabscheidung (G) transportiert.

4.5 Kryogene Vermahlung

Im Unterschied zur Warmvermahlung werden bei der kryogenen Vermahlung die vorzerkleinerten Reifenchips von 50 bis 100 mm mit flüssigem Stickstoff auf etwa - 100 °C gekühlt, um eine Versprödung des Materials zu erreichen. So ist es möglich, in einem einzigen Verfahrensschritt sowohl die Stahl- und Faseranteile aufzuschließen, als auch die Gummifraktion auf eine Korngröße von 0,4 mm bis 5 mm zu zerkleinern. Dieses relativ große Korngrößenspektrum nach einem einzigen Zerkleinerungsschritt ist typisch für die erste Stufe einer kryogenen Vermahlung von Reifenchips.

Im Gegensatz zur Warmvermahlung ist jedoch eine Rückführung des Überkorns für eine nochmalige Zerkleinerung beim kryogenen Verfahren nicht möglich.

Anlagen, die bereits 50 mm große Reifenschnitzel kryogen zerkleinern, sind hauptsächlich in Nordamerika gebräuchlich. In Europa ist eher eine Mischform verbreitet, wobei nur die letzte Zerkleinerungsstufe, also eine Vermahlung von 2 - 4 mm auf kleiner 0,4 mm, kryogen erfolgt. Auch hier sind die Vorteile, dass mit einer einzigen Maschine ein sehr hoher Durchsatz (oft über 1.000 kg pro Stunde) erreicht werden kann.

5. Anwendungen von Altreifen und Gummigranulat

5.1 Gebrauchtireifen-Export

Die an und für sich ökologisch und wirtschaftlich sinnvollste Verwertungsmethode, nämlich Altreifen ohne jegliche Bearbeitung für den ursprünglich beabsichtigten Zweck weiter- bzw. wiederzuverwenden,

ist keine Lösung der Entsorgungsfrage im eigentlichen Sinne. Alle Reifen fallen früher oder später als Altreifen an, oft jedoch nicht im Ursprungsland.

Diese zeitliche und geographische Verschiebung der Entsorgungsfrage kann erhebliche Probleme mit sich bringen, insbesondere wenn Altreifen in Länder verbracht werden, die nicht über eine hinreichende Entsorgungslogistik verfügen. Es ist seit einigen Jahren zu beobachten, dass große Mengen Altreifen - mehr oder weniger legal - in osteuropäische bzw. nordafrikanische Länder verkauft werden.

5.2 Energetische Verwertung

Beim Anblick eines unkontrollierten Reifenbrandes, bei dem Ruß, aromatische Kohlenwasserstoffe und Pyrolyseöle freigesetzt werden, kann man sich kaum vorstellen, dass die Verbrennung von Altreifen eine umweltfreundliche Entsorgungsmethode sein kann.

Doch dieser Eindruck täuscht. Mit einem Heizwert von ca. 9,0 kWh/kg und einem Schwefelgehalt von nur ca. 1,2 % eignen sich Altreifen hervorragend als Brennstoffersatz in Zementwerken, Zellstoffwerken und Kraftwerken.

Sowohl in den USA, als auch in vielen europäischen Ländern ist die thermische Verwertung derzeit die mengenmäßig bedeutendste Entsorgungsmethode für Altreifen. In Deutschland sind Zementwerke mit ca. 250.000 Tonnen pro Jahr mit Abstand die größten Verwerter von Altreifen. Aufgrund der hohen Verbrennungstemperatur können in Zementwerken sogar ganze LKW-Reifen sicher und umweltschonend verfeuert werden. Die Stahleinlagen der Reifen oxidieren vollständig und werden somit zu einem Bestandteil des Zements, was durchaus erwünscht ist.

5.3 Pyrolyse

Das Prinzip der Altreifenpyrolyse besteht darin, ganze oder vorzerkleinerte Reifen unter Ausschluss von Luftsauerstoff, auf 400 bis 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
- Stahlfasern

Die Pyrolyse ist genau genommen nichts weiter als eine Sonderform der energetischen Verwertung, weil der überwiegende Anteil der Produkte (Gas, Öl) nicht stofflich sondern energetisch genutzt wird. In einigen Fällen gelingt es, Pyrolysekoks bzw. Ruß als Pigment zu verwerten, aber oft wird auch diese Fraktion nur energetisch verwertet.

Die US-amerikanische Rubber Manufacturers Association (RMA) veröffentlichte 2002 eine Studie, aus der hervorging, dass von den seinerzeit weltweit bekannten 75 Pyrolyseanlagen keine einzige für längere Zeit wirtschaftlich sinnvoll in Betrieb war. Dem Autor dieses Beitrages ist ebenfalls keine einzige wirtschaftlich erfolgreiche Pyrolyseanlage bekannt.

Aufgrund der gestiegenen Energiepreise könnte das Pyrolyseverfahren jedoch wieder an Bedeutung gewinnen. Es gibt auch zunehmend Bemühungen, Ruß aus Pyrolyseanlagen als Rohstoffersatz in der Gummi- und Kunststoffindustrie einzusetzen.

6. Anwendungen für Granulate und Mehle aus Altreifen

Die Anwendung von Granulaten und Mehlen als Füllstoff bzw. Rohstoffersatz in der Reifenindustrie wäre ein naheliegender Einsatzbereich, weil in dieser Branche die mit Abstand größte Menge an Elastomeren verwendet wird, nämlich ca. 65 %.

Recyclingmaterial wird bei der Herstellung von Neureifen jedoch nur in sehr begrenztem Umfang eingesetzt, vor allem weil die Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen bei der Herstellung von Reifen sehr hoch sind. Darüber hinaus wird von den derzeit bestehenden Granulierbetrieben relativ wenig Recyclingmaterial angeboten, welches von der Reifenindustrie tatsächlich als Rohstoffersatz eingesetzt werden kann.

Andererseits wurden seit den frühen 90er Jahren eine ganze Reihe von Anwendungen für Granulate und Mehle entwickelt, bei denen man nicht unbedingt von Recycling im eigentlichen Sinne sprechen kann. Es handelt sich vielmehr um völlig neuartige Anwendungen für ein Material, das sich in vielerlei Hinsicht von dem Einsatz herkömmlicher Kautschukmischungen unterscheidet. In vielen Fällen, wie z. B. beim Sportstättenbau oder bei der Herstellung von mit Urethan gebundenen Formteilen, ist es vor allem die körnige Beschaffenheit des Gummigranulats, die neue Anwendungen ermöglicht.

Nachfolgend werden die wichtigsten Einsatzmöglichkeiten für Granulate und Mehle aus Altreifen besprochen. Diese Liste kann jedoch keineswegs den Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

6.1 Granulate und Mehle als Füllstoff in der Kautschukindustrie

Wie bereits erwähnt, können Granulate und Mehle in der Kautschukindustrie als Füllstoff in Frischkautschukmischungen eingesetzt werden. Sofern eine gewisse Höchstmenge an Recyclingmaterial nicht überschritten wird, sind Qualitätseinbußen kaum zu befürchten. Die Verwendung von Gummimehl als Füllstoff hat vielmehr eine ganze Reihe von Vorteilen:

- reduzierte Materialkosten
- günstigeres Mischverhalten
- verbesserte Formstabilität der noch nicht vulkanisierten Teile
- besseres Entgasungsverhalten während des Vulkanisiervorgangs
- verkürzte Vulkanisationszeit

Genaue Daten darüber, wie viel Gummimehl in der Reifen- und Kautschukindustrie als Füllstoff verbraucht wird, sind sehr schwer erhältlich. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass diese Menge in der Reifenindustrie (je nach Hersteller und Art der Reifen) bei etwa 3 bis 10 % liegt.

6.2 Entvulkanisation

Bei der Vulkanisation werden die Molekülketten der Rohkautschukmischung vernetzt. Die formbare, plastische Masse wird unter Einwirkung von Hitze und Druck zu einem widerstandsfähigen und elastischen Produkt mit den typischen Eigenschaften von Gummi.

Obwohl der Prozess der Vulkanisation allgemein als irreversibel gilt, gibt es eine ganze Reihe von Verfahren, mit denen die Querverbindungen der Molekülketten zumindest teilweise wieder aufgebrochen werden können. Dadurch ist es möglich, Recyclinggummi zu einem relativ hohen Anteil (je nach Anwendung 20 bis 80 %) als Rohstoffersatz einzusetzen.

In der folgenden Tabelle werden die bekanntesten Entvulkanisationsverfahren kurz beschrieben.

Wichtige Verfahren zur Entvulkanisation von Elastomeren

Verfahren	Beschreibung
Reclaim-Verfahren	Altgummi wird über längere Zeit erhitzt, so dass sowohl die Schwefelbindungen, als auch die Polymerketten partiell durchtrennt werden. Dieses Verfahren wurde erstmals 1858 von H. L. Hall patentiert und wird heute noch in Asien angewandt. Das so gewonnene Regenerat wird mittlerweile im größeren Umfang als Rohstoff-Ersatz eingesetzt.
Mikrowellen-Verfahren	Diese Sonderform der thermischen Entvulkanisation wurde in den 1970er Jahren von Goodyear entwickelt, kam aber über ein experimentelles Stadium nie hinaus.
Mechanisches Verfahren	Bei diesem Verfahren wird Altgummi intensiv mechanisch bearbeitet, mit dem Ziel, die Schwefelverbindungen selektiv zu durchtrennen. Dieses Verfahren ist durchaus praktikabel und führt zu achtbaren Ergebnissen, insbesondere bei höherwertigen Elastomeren wie FKM, Fluorsilikon und HNBR.
Mechano-Chemisches Verfahren	Bei Elastomeren mit sehr hohen Zugfestigkeiten (beispielsweise Reifenmischungen) führt das rein mechanische Verfahren nur bedingt zu brauchbaren Ergebnissen. Eine Zugabe von Chemikalien und Verarbeitungshilfsmitteln ist daher eine sinnvolle Alternative.
Ultraschall-Verfahren	Bei dieser Sonderform der mechanischen Entvulkanisation wird die mechanische Energie in Form von Ultraschallwellen zugeführt. Erste Forschungsergebnisse sind vielversprechend, jedoch befindet sich auch dieses Verfahren noch in einem experimentellen Stadium.
Bakterielles Entvulkanisieren	Feines Gummimehl wird in einer wässrigen Suspension mit Bakterien in Verbindung gebracht, die Schwefel aufzehren, z. B. <i>Thiobacillus</i> , <i>Rhodococcus</i> und <i>Sulfolobus</i> . Dadurch werden gezielt die Schwefelverbindungen gelöst. Aufgrund der relativ langen Verfahrensdauer und des hohen Aufwandes für die Trocknung und Weiterverarbeitung hat sich das bakterielle Verfahren bislang nicht durchgesetzt.

Aufgrund der aktuellen Preisentwicklung und der absehbaren langfristigen strukturellen Knappheit für einige Elastomerarten ist die Entvulkanisation ein sehr vielversprechendes Verfahren, um ein Recyclingmaterial zu einem hochwertigen Rohstoffersatz weiterzuverarbeiten.

Das wirtschaftliche Potential der Entvulkanisation kann anhand der folgenden Zahlen verdeutlicht werden: Während sauberes und stahlfreies Gummigranulat aus Altreifen derzeit in Europa für teilweise unter 200 Euro pro Tonne angeboten wird, kostet entvulkanisiertes Material etwa 600 bis 1.000 Euro pro Tonne. Letzteres ist für Reifen- und Gummihersteller ein sehr attraktiver Preis für einen wiederverwerteten Rohstoff, wenn man bedenkt, dass Frischmischungen zwischen 2.000 und 4.000 Euro pro Tonne kostet.

6.3 Gummigranulat als Zuschlagsstoff für Asphalt (Gummiasphalt)

Asphalt besteht aus einer Mischung aus Bitumen, Splitt und ggf. weiteren Zuschlagsstoffen wie z. B. Öle oder Polymere. Ein weit verbreitetes Problem von nicht modifiziertem Asphalt ist, dass er bei niedrigen Temperaturen spröde und brüchig wird, was zu Kälterissen und Frostschäden führt.

Andererseits wird Asphalt ab einer gewissen Temperatur sehr weich und so kann innen weniger heißer Sommertage eine Fahrbahn aus nicht modifiziertem Asphalt durch die so entstehenden Spurrillen komplett ruiniert werden.

Beide Probleme können dadurch abgemildert werden, dass dem Asphalt Zuschlagsstoffe beigegeben werden, die zum einen bei sehr niedrigen Temperaturen für ausreichende Elastizität sorgen und gleichzeitig bei hohen Temperaturen eine zu schnelle Erweichung des Straßenbelages verhindern.

Seit den 1920er Jahren hat es in Deutschland immer wieder Teststrecken mit Gummiasphalt gegeben, wobei unterschiedlichste Mischungen und Materialien zum Einsatz kamen. Seit 1981 wird in Europa ein gummimodifizierter Straßenbelag mit dem Markennamen Flüster-Asphalt (R) eingesetzt. Erfahrungsberichten zufolge sind folgende positive Eigenschaften festzustellen:

- geringere Lärmemission
- verbesserte Drainagefähigkeit
- verminderte Spurrillenbildung
- deutlich reduzierte Lebenszykluskosten
- Verdoppelung der Lebensdauer des Straßenbelags

Trotz dieser zweifelsfrei belegten Vorteile hat sich diese Art des Straßenbelags in Europa noch nicht in dem Maße durchgesetzt, wie dieses im Sinne eines verantwortungsbewussten Umganges mit den immer knapper werdenden öffentlichen Geldern wünschenswert wäre.

Demgegenüber wurden in Nordamerika in den vergangenen fünfzehn Jahren zahlreiche große Gummiasphalt-Projekte realisiert. Mehrere Langzeitstudien belegen sowohl die technische, als auch die wirtschaftliche Überlegenheit von Gummiasphalt.

So z. B. schreibt der Straßenbauingenieur George B. Way vom Arizona Department of Transportation Folgendes in seinem Bericht zu dem Projekt "Flagstaff I-40 Asphalt Rubber Overlay Project - Nine Years of Success":

"Im Jahre 1990 hat das Arizona Department of Transportation auf der sehr stark befahrenen Interstate I-40 bei Flagstaff, Arizona die Erneuerung des Straßenbelages mit Gummiasphalt (GA) geplant und durchgeführt. Anhand dieses Projektes sollte ermittelt werden, ob durch eine relativ dünne Gummiasphaltschicht die Rissausbreitung vom Unterbett in die Deckschicht vermindert werden kann.

Gummiasphalt ist eine Mischung aus 80 % Bitumen, wie er im Straßenbau eingesetzt wird, und 20 % Gummigranulat aus Altreifen. Diese Mischung wird häufig "Wet Process" oder auch "McDonald-Process" genannt. In dem vorliegenden Projekt wurde der Straßenbelag auf ein sehr stark beschädigtes Unterbett aus Beton aufgebracht, das eigentlich hätte komplett wiederhergestellt werden müssen.

Der Straßenbelag aus Gummiasphalt hat die Erwartungen mehr als erfüllt. Nach neun Jahren ist der Belag so gut wie ohne Risse und ohne Spurrillen, weist gute Fahreigenschaften auf und ist immer noch griffig. Wartungsarbeiten waren bislang so gut wie gar nicht erforderlich.

Die Vorteile gegenüber konventionellem Straßenbelag bestehen in der Verminderung der Baukosten um ca. 18 Millionen Dollar sowie einer vier Jahre kürzeren Bauzeit.

In Verbindung mit diesem Projekt wurden auch Teststrecken nach den Spezifikationen des Strategic Highway Research Program SPS-6 gebaut, um die Vorzüge von Straßenbelägen aus Gummiasphalt zusätzlich zu belegen.

Die aus diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse haben dazu geführt, dass Gummiasphalt in Arizona flächendeckend eingesetzt wird. Als unmittelbare Folge dieser Arbeit wurden in Arizona seit 1990 insgesamt 2.000 Meilen [3.300 km] mit Gummiasphalt asphaltiert."

(Übersetzung: Kurt Reschner; der komplette Bericht kann im Original unter www.rubberpavements.org eingesehen werden.)

Trotz der auf der Hand liegenden Vorteile fristet diese Anwendung in Deutschland sowie im übrigen Europa eher ein Schattendasein. Dies liegt vor allem an den hier üblichen Ausschreibungsverfahren der öffentlichen Hand. Es wird in der Regel nicht der Zustand eines Straßenbelages über einen längeren Zeitraum ausgeschrieben, sondern zumeist die einmalige Asphaltierung einer Straße oder Autobahn. Es liegt in der Natur der Sache, dass die Straßenbauunternehmen bei dieser Ausschreibungspraxis keinerlei Anreiz haben, hochwertigere und vor allem langlebige Asphaltbeläge zu bauen.

Sollte die öffentliche Hand jedoch auch hierzulande dazu übergehen, den Zustand des Straßenbelags über einen längeren Zeitraum (beispielsweise 20 Jahre) auszuschreiben, wäre es im ureigensten Interesse der Straßenbauunternehmen, ein möglichst langlebiges Material einzusetzen. Dies würde nicht nur zu einer deutlichen Einsparung der Straßenbaukosten führen, sondern hätte auch den sehr erfreulichen Nebeneffekt, dass es langfristig weniger Baustellen und Staus gäbe.

6.4 Weitere Anwendungen von Recyclinggummi

Oberflächenaktivierung

Unbehandelte Granulate und Mehle lassen sich nicht so innig mit Frischkautschuk mischen, wie dies im Sinne einer hohen Produktqualität wünschenswert wäre. Um diesem Nachteil zu begegnen, können die Partikel entweder mechanisch oder chemisch aktiviert werden, um die Adhäsionskraft zwischen Frischkautschuk und Granulat zu erhöhen.

Sportböden und Fallschutzmatten

Gummigranulat aus Altreifen einer Korngröße von ca. 1,0 bis 4,0 mm findet seit Jahrzehnten Anwendung beim Bau von Sportböden. Dabei wird das Granulat mit einem speziellen Binder vermengt und in einer gleichmäßigen Schicht auf Hallenböden oder auf Sportplätzen im Freien aufgetragen. Die Deckschicht bildet entweder ein Kunstrasen oder farbiges EPDM-Granulat. Eine Sonderform dieser Anwendung stellen Fallschutzmatten für Spielplätze dar, die in den vergangenen Jahren zunehmend Verbreitung fanden.

Formteile und Matten

Aus Gummigranulat, welches mit einem PU-Binder vermengt wird, können Formteile und Matten hergestellt werden. Das Besondere an dieser Technik ist, dass die Fertigung von Teilen aus Granulat wesentlich schneller und effizienter erfolgen kann, als bei der Verwendung von Frischkautschukmischungen, weil die Aushärtungszeit des PU-Binders recht kurz ist. Zudem sind die Materialkosten niedriger, jedoch können nur relative einfache Teile mit niedrigen Qualitätsanforderungen hergestellt werden.

Thermoplastische Elastomere

Statt eines relativ teuren PU-Binders können auch Recycling-Thermoplaste (z. B. PP oder PE) als Binder verwendet werden. Eine relativ einfache Technik besteht darin, Gummigranulat mit PE-Granulat zu vermengen und Formteile durch Pressen oder Extrudieren herzustellen. Qualitativ hochwertigere Produkte erhält man, wenn feinere Mehle verwendet werden, die nicht nur mit Thermoplasten vermengt, sondern zusätzlich chemisch vernetzt werden. Dadurch erhält man ein Material mit den Eigenschaften eines Elastomers, das sich jedoch thermoplastisch verhält und somit auch in Spritzgießmaschinen verarbeitet werden kann. Auch bei dieser Anwendung gibt es erhebliches Wachstumspotential, insbesondere in der Automobil-Zulieferindustrie.

Gummigranulate im Garten- und Landschaftsbau

Granulate einer Körnung von 5 - 8 mm werden zunehmend auch im Garten- und Landschaftsbau eingesetzt. Zahlreiche Feldversuche haben gezeigt, dass eine Beimengung von 10 – 15 % Gummigranulat in die oberen 10 – 20 cm der Erdschicht eine Kompaktierung des Bodens auf stark frequentierten Rasenflächen spürbar vermindert.

Dadurch bleiben die Graswurzeln kräftiger, Regenwasser kann besser versickern und die Wartungskosten für stark beanspruchte Rasenflächen können spürbar gesenkt werden. Typische Anwendungsbereiche sind Sportplätze, öffentliche Parks, Golfplätze, etc. Die häufig gestellte Frage nach möglicherweise schädlichen Emissionen durch das Gummigranulat ist durch etliche unabhängige Studien in den USA eindeutig geklärt: Diese Anwendung ist nicht nur sehr sinnvoll, sondern auch völlig sicher und stellt keinerlei Gefahr für die Umwelt dar.

7. Zu guter Letzt

Der Rat eines unabhängigen Experten mit langjähriger und einschlägiger Branchenerfahrung kann maßgeblich dazu beitragen, dass ein Projekt zielsicher und erfolgreich umgesetzt wird. Als beratender Ingenieur übernehme ich in der Regel folgende Aufgaben für Unternehmen, Banken und Investoren:

- technische und kommerzielle Due Diligence von bestehenden Anlagen, neuen Projekten und innovativen Technologien
- Machbarkeitsstudien für Vorhaben im Bereich Altreifen-Verwertung, Gummi-Recycling, Pyrolyse, Feinvermahlung und Entvulkanisierung.
- Hilfestellung bei der Auswahl von Maschinen und Auslegung der Anlagen
- Begleitung eines Projektes von der konzeptionellen Idee bis zur Inbetriebnahme der Anlage
- Konzeption von Anlagen zur Weiterverarbeitung von Gummigranulat, z.B. kryogene Feinmahl- anlagen oder Anlagen zur Entvulkanisierung
- Entwicklung neuer Produkte aus Recyclinggummi

Falls Sie allgemeine Fragen oder Beratungsbedarf für ein konkretes Projekt haben, zögern Sie bitte nicht, mit mir in Kontakt zu treten.

Ihr

Kurt Reschner

kurt.reschner@gmail.com
+49 176 48 140 240