

Schlussbericht

Teil I

Kurzdarstellung

I.1. Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung umfasst im Einzelnen:

- Aufstellung einer Grundsatztechnologie zur Herstellung dynamisch stabilisierter Compounds mit TPE-ähnlichen Eigenschaften aus Gummimehl und Thermoplasten nach spezieller Schmelzemischtechnologie
- Rezepturenentwicklung zur Ermittlung eines optimalen Mischungsverhältnisses von Thermoplast und Gummimehl sowie der Wirkung der Verwendung zusätzlicher Stabilisierungssysteme.
Ziel: Compound mit elastomertypischen mech. Verhalten aber thermoplastischer Verarbeitbarkeit (TPE).
- Prüfungen der dynamisch stabilisierten Compounds (Elastomerlegierungen) zur Charakterisierung der Eigenschaften hinsichtlich der Festlegung von optimalen technologischen Parametern für die nachfolgenden Verarbeitungsprozesse, z. B. Spritzgießen.
- Statische und dynamische Prüfungen, um die dynamisch stabilisierten Compounds hinsichtlich ihrer Anwendung für hochbeanspruchte technische Formteile zu charakterisieren.
- Untersuchungen zur Recycelbarkeit der Compounds und zur Ökonomie des neuen Verfahrens
- Herstellung und Prüfung von Musterformteilen.

In der Bundesrepublik sind jährlich ca. 1 Mio Tonnen Alt- und Abfallgummi zu entsorgen. Mit 600.000 jato ist dabei der Gummi der Fahrzeugreifen der wichtigste Anteil. Zu der dadurch gegebenen Umweltproblematik wird an der Professur Kunststoffverarbeitungstechnik unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. G. Mennig an der TU Chemnitz ein Beitrag zum werkstofflichen Recycling von Gummi auf hohem Qualitätsniveau (kein Downcycling) geleistet.

I.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das F/E-Vorhaben wurde an der TU Chemnitz, Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik, Professur Kunststoffverarbeitungstechnik, im Zeitraum vom 01.01.1997 bis 31.05.2000 durchgeführt. An der Lösung der umfangreichen Aufgabenstellung waren zwei Wissenschaftler und studentische Hilfskräfte beteiligt. Im Unterauftrag waren auch Wissenschaftler anderer Forschungseinrichtungen, z. B. FARU GmbH, Dresden, an der Lösung der F/E-

Aufgabenstellung beteiligt. Die Kostenplanung und die vom PT UBA zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel erlaubten die Sicherung von ausgewählten wichtigen F/E-Ergebnissen in zwei deutschen Patentanmeldungen. (DE 196 07 281 A1 und DE 199 237 581)

Für experimentelle Arbeiten konnte die Grundausrüstung des "Gummilabors" der Professur Kunststoffverarbeitungstechnik genutzt werden. Nach Investitionsplan erfolgte die Beschaffung von einer Prüfmaschine und die Kopplung des Laborinnenmischers mit neuer Prozessrechentechnik. Weitere Klein-Investitionen trugen zur Qualifizierung der F/E-Arbeiten bei. (Übersicht zu den Investitionen siehe Bericht zum Verwendungsnachweis der finanziellen Fördermittel).

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die auf ursprünglich 30 Monate geplante Laufzeit des F/E-Vorhabens wurde im Zuge von Verlängerungsanträgen und Umwidmungen finanzieller Mittel um 11 Monate verlängert. Die Bearbeitung des Vorhabens erfolgte ohne Unterbrechung und Wechsel in der personellen Kapazität. Die im Balkenplan vorgegebenen Fristen und Zielstellungen wurden realisiert.

I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere

- Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.

An der TUC waren sowohl Wissenschaftler und Fachpersonal als auch die versuchstechnischen Ausrüstungen vorhanden, um die in der Aufgabenstellung festgelegten Probleme zu lösen.

Die Arbeitsgruppe Kautschuktechnik beschäftigte sich zum Zeitpunkt des Projektbeginns seit ca. 30 Jahren mit vielfältigen, insbesondere praxisorientierten Problemen der Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von Kautschukmischungen und Gummi.

Die F/E-Arbeiten basieren auf einer vom Lehrstuhl Kautschuktechnik betreuten Dissertation zum Thema:

"Herstellung und Verarbeitung von Mischungen aus Polyolefinen und Naturkautschuk", Dr. Quang, 1988.

Engste und ständige Zusammenarbeiten mit sowohl den Gummimehlproduzenten als auch den zukünftigen Verarbeitern und Nutzern der Elastomerlegierungen waren den erfolgreichen F/E-Projektarbeitern sehr förderlich.

- Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Die Literaturquellen, die im F/E-Bericht benannt und ausgewertet sind, wurden in der Fachbibliothek Maschinenbau der TUC beschafft und eingesehen.

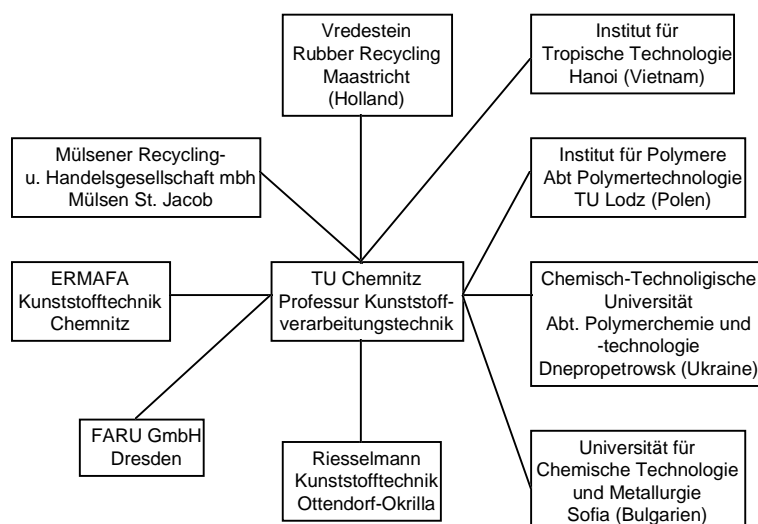
Die Patentrecherche wurde am Patentinformationszentrum der TUC begonnen und mit Hilfe der beauftragten Patentanwältin am Patentamt München fortgesetzt.

Eine Datenbankrecherche zum F/E-Problemkreis wurde vom DKI Darmstadt erstellt.

Auf Anforderung erfolgten Zuarbeiten zur laufenden Vervollständigung der Umweltforschungsdatenbank UFORDAT beim Umweltbundesamt.

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Laufe der Projektbearbeitung erfolgte eine intensive Zusammenarbeit sowohl mit in- und ausländischen Instituten als auch Firmen, die sich mit der Herstellung von Gummimehl beschäftigen, die potentielle Lieferanten der notwendigen Maschinen für die Herstellung und Verarbeitung der Elastomerlegierungen sein können oder spezielle Werkstoffprüfungen übernehmen. Insbesondere in der Abschlussphase der F/E-Projektarbeiten intensivieren sich die Kontakte zu zukünftigen Nutzern/Anwendern der Elastomerlegierungen. Das Bild zeigt eine Übersicht zur Struktur der Zusammenarbeit.



Eine Zusammenstellung der Interessenten, die im Laufe der Projektbearbeitungszeit Informationen zu den F/E-Projektarbeiten anforderten, kann bei Bedarf nachgereicht werden.

Schlussbericht

Teil II

II. 1. Eingehende Darstellung der F/E-Ergebnisse

Gliederung

- II.1.0. Vorbemerkungen
- II.1.1. Gesellschaftliche Relevanz der Themenstellung
 - II.1.1.1. Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Alt- und Abfallgummi (Wissenschaftlich-technischer Stand)
 - II.1.1.2. Zielstellung der F/E-Projektarbeiten zur werkstofflichen Verwertung von Reifengummimehl
- II.1.2. Die Funktion des Gummimehls als Phasenkomponente in der Elastomerlegierung
 - II.1.2.1. Dynamische Stabilisation von Gummimehl-Kunststoff-Compounds
 - II.1.2.1.1. Physikalisch-chemische Grundlagen der Rezeptur- und Verfahrensentwicklung
 - II.1.2.1.2. Der Schmelzemischprozess mit dynamischer Stabilisation
- II.1.3. Das Eigenschaftsbild der Elastomeric Alloys
 - II.1.3.1. Morphologische Struktur der Phasenkopplung
 - II.1.3.2. Eigenschaftskennwerte der Elastomeric Alloys
 - II.1.3.2.1. Viskositätsuntersuchungen
 - II.1.3.2.2. Statische Werkstoffkennwerte
 - II.1.3.2.3. Dynamische Werkstoffkennwerte
 - II.1.3.2.4. Thermische-dynamomechanische Charakteristik
 - II.1.3.2.5. Interpretation mikroskopischer Untersuchungsergebnisse
 - II.1.3.2.6. Bewitterungsbeständigkeit
 - II.1.3.2.6.1. Zielstellung der Untersuchungen

II.1.3.2.6.2. Künstliche Bewitterung

II.1.3.2.6.3. Natürliche Bewitterung

II.1.3.2.7. Medienverhalten

II.1.4. Effekte, die die Ökonomie des Verfahrens und der Verwendung der EAs bestimmen

II.1.5. Zusammenfassung und Ausblick

Anlagen/Anlagenverzeichnis

II. 2. Verwertbarkeit der Ergebnisse

II. 3. Während der Projektlaufzeit bekannt gewordene Fortschritte auf dem Fachgebiet

II. 4. Veröffentlichungen

II.1.0. Vorbemerkungen

Die in diesem II. Teil des Schlussberichtes zum F/E-Projekt in kurzer Form zusammengefassten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse leisten den vom Fördermittelgeber BMBF und vom Projektträger UBA geforderten Beitrag zur werkstofflichen Verwertung von Alt- und Abfallgummi.

Detaillierte Forschungsergebnisse und Rechte an der Nutzung der Patente sind im Rahmen eines ausschließlichen Lizenz- und know-how-Vertrages an die Firma FARU GmbH Dresden übergegangen und gelten nun als vertraulich.

Informationen zu über den im Bericht dargestellten und auch vom ursprünglichen Projektantrag geforderten wiss.-techn. Sachverhalten, Rezepturen, Prüfwerten und technologischen Vorschriften können jederzeit nach Aufforderung direkt von den Projektarbeitern abgefordert oder aus den internen F/E-Berichten sowie der Patentrecherche erhalten werden.

II.1.1. Gesellschaftliche Relevanz der Themenstellung

II.1.1.1. Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Alt- und Abfallgummi (wissenschaftlich-technischer Stand)

Zu einem großen Umweltproblem entwickeln sich die jährlich weltweit produzierten ca. 13 Mio t Gummi in Form von Reifen und Gummiformteilen, wenn keine technisch gangbaren und ökonomisch vertretbaren Recycling- oder Entsorgungsmöglichkeiten gefunden und praktiziert werden. Auch für Alt- und Abfallgummi gilt der allgemeine Grundsatz des Recycling-Managements, der lautet: Abfallvermeidung vor Abfallverminderung vor Abfallverwertung (Bild 1).

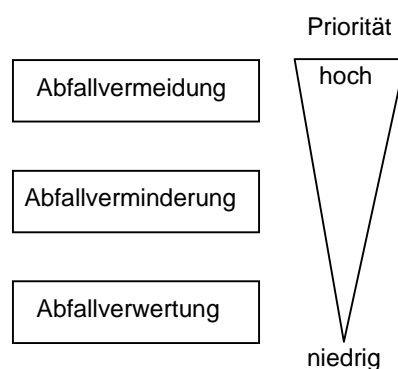


Bild 1: Prioritäten des Abfallmanagements

In Europa sind im Jahre 2000 ca. 4 Mio t Alt- und Abfallgummi zu verwerten oder zu entsorgen. Diese Menge gliedert sich auf in ca. 2,5 Mio t Reifen und ca. 1,5 Mio t Technische und Sonstige Elastomer-(Gummi)teile (TSE). Der größte Teil der Alt- und Abfallreifenmenge wird verbrannt oder landet zur Zeit noch auf Deponien. In Deutschland sind jedes Jahr ca. eine Million Tonnen Alt- und Abfallgummi zu verwerten oder zu entsorgen.

Davon sind 600 000 t Altreifen und 400 000 t sogenannte TSE. Die umweltverträgliche und ökonomisch sinnvolle Verwertung und Entsorgung dieses Riesenberges von Alt- und Abfallgummi ist auch gegenwärtig noch nicht gelöst. Es existieren nur Konzepte mit Teillösungen.

Die grundlegenden Schwierigkeiten bei der Verwertung und Entsorgung von Alt- und Abfallgummi basieren auf dem im Vulkanisationsprozess der Kautschukmischung irreversibel geknüpften Netzwerk im Gummi. Dieses Netzwerk schließt die Realisierung eines geschlossenen Stoffkreislaufes, wie es ihn bei den thermoplastischen Kunststoffen gibt, aus. Dieses auf physikalischen und vor allem chemischen Bindungen beruhende Netzwerk zwischen den Kohlenstoff-Kettenmolekülen des Kautschuks begründet die hervorragenden und unvergleichlichen spezifischen Eigenschaften von Gummi.

Ein ökologisch und ökonomisch ausgewogenes Entsorgungs- und Verwertungskonzept für Alt- und Abfallgummi wird weiter verkompliziert durch die Tatsache, dass die meisten hoch beanspruchbaren technischen Gummiartikel nicht aus homogenem Gummi aufgebaut, sondern auch noch mit Festigkeitsträgern wie Stahl oder hochfesten Fasern verbunden sind. Typischste Vertreter dieser verstärkten Gummiteile sind die Reifen, die auch den größten Anteil der zu entsorgenden oder verwertenden Alt- und Abfallgummimenge ausmachen. Das aktuelle Schema der Möglichkeiten des Alt- und Abfallgummirecyclings und der Entsorgung lässt sich unter besonderer Berücksichtigung der Reifen wie folgt darstellen (Bild 2).

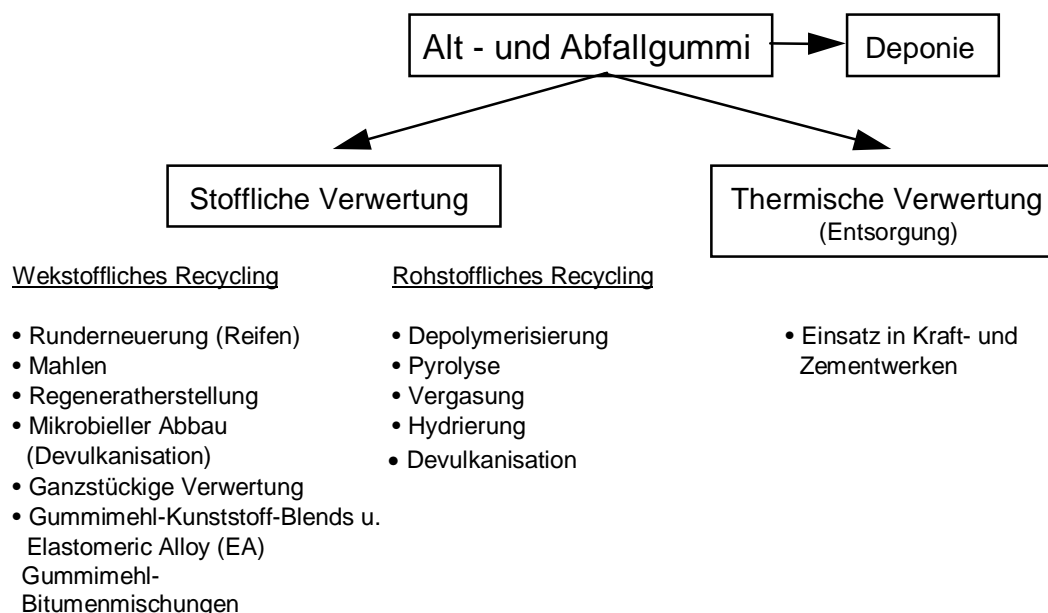


Bild 2: Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Alt- und Abfallgummi

Das Verwertungs- und Entsorgungskonzept beruht gegenwärtig auf den Säulen Deponie, thermische Entsorgung und roh- bzw. werkstoffliche Verwertung des Alt- und Abfallgummis.

Die Deponie stellt nicht zuletzt auf Grund des unverdichtbaren großen Volumens der Gummiteile und der Brandgefahr eine umweltbelastende Variante dar (Gummi ist Sondermüll!). Einer Deponie ist nur dann zuzustimmen, wenn durch eine geordnete Ablagerung der wertvolle Werkstoff Gummi für die Zeit aufbewahrt wird, zu der die technischen und ökonomischen Probleme dessen Verwertung und Entsorgung gelöst sind - das kann aber noch einige Jahre dauern.

Die weltweit praktizierte Entsorgung des Alt- und Abfallgummis durch Verbrennen in Wärmekraftwerken und in der Zementindustrie (Nutzung des Energieinhaltes - thermische Entsorgung) gilt hinsichtlich der Beherrschung von emissionsfreier Rauchgastechnik zwar als gelöst, kann aber nicht das Ziel eines auch vor späteren Generationen Bestand habenden Verwertungs- und Entsorgungskonzeptes sein.

Dieser Tatsache Rechnung tragend, legen die EG-Richtlinien und auch die nationale Gesetzgebung eine abfallwirtschaftliche Rangfolge der stofflichen Verwertung vor der Nutzung des Energieinhaltes fest. (s. a. Bild 1)

Das oberste und erklärte Ziel des Gummirecyclings ist das sogenannte rohstoffliche Recycling, d. h. die Zerlegung des Gummis in solche Stoffe, die der chemischen Industrie als Rohstoffe wieder zugeführt werden können oder sogar - und das wäre der Idealfall - wieder zur Herstellung von Kautschuk bzw. Kautschukmischungen und damit auch zur Gummiproduktion dienen können. Auf dem Gebiet des rohstofflichen Recyclings gibt es vielfältige Aktivitäten und einige schon in Pilotanlagen praktizierte Verfahrensabläufe, z. B. Pyrolyse, Hydrolyse, Depolymerisation, Devulkanisation, Hochtemperatur-Vergasung u. a., die jedoch bis zur großtechnischen Umsetzung und Nutzung noch eines großen Forschungsaufwandes bedürfen und sich insbesondere hinsichtlich der Ökonomie der einzelnen Verfahren noch durch eine Reihe ungelöster Probleme auszeichnen.

Daher werden gegenwärtig Verfahren favorisiert, die den wertvollen Werkstoff Gummi erhalten und die gewünschten technisch einzigartigen gummispezifischen Eigenschaften eventuell auch in neuen Produkten wirksam werden lassen. Um dieses Ziel zu erreichen und damit nationalen und europäischen Richtlinien betreffs der schon eingangs zitierten abfallwirtschaftlichen Rangfolge der stofflichen Verwertung von organischen Stoffen zu entsprechen, werden gegenwärtig die Verfahren des werkstofflichen Recyclings entwickelt.

Das Projektteam der Technischen Universität Chemnitz leistet zu dieser hochaktuellen Aufgabenstellung mit dem vom BMBF geförderten und unter der Projektträgerschaft des UBA stehenden Projektes (Förderprojekt Nr. 1491066) mit innovativen Ideen zur werkstofflichen Verwertung von Gummi mit spezieller Technologie zur Herstellung neuer Werkstoffe und Produkte einen wichtigen Beitrag. Den Projektarbeiten ist der EUREKA-Status (Nr. EU 1080) zuerkannt worden. Mit der Gewährung von Fördermitteln zur Realisierung der Aufgabenstellung des Projektantrages mit dem Thema "Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von dynamisch stabilisierten Compounds mit TPE-ähnlichen Eigenschaften aus Gummimehl und Kunststoffen" anerkannte das BMBF/UBA die Bedeutung dieser im

Interesse der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes stehende Aufgabenstellung.

Eine systematische und äußerst umfangreiche Recherche von mehr als 100 Literaturstellen (s. Anlage 1) hat ergeben, dass sich zwar eine Vielzahl von Autoren und Firmenschriften mit den Problemen des Gummirecyclings, der Compoundierung von Kautschuk mit Kunststoffen sowie der Technologie der dynamischen Stabilisierung von Polymergemischen befassen, es jedoch noch keine gesicherten wissenschaftlichen und praktischen Problemlösungen betrifft der vom Projektteam beispielhaft entwickelten und bereits erfolgreich erprobten werkstofflichen Recyclingstrategie gibt.

Das TAMARREC-Projekt - internationale interdisziplinäre wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Gummirecyclings

Das Projektteam der TUC war auch anerkanntes Mitglied der am Problem des werkstofflichen Recyclings von Alt- und Abfallgummi arbeitenden Gruppe im TAMARREC-Projekt (Taylor-Made-Rubber-Recycling). Eine Übersicht über die während der Projektlaufzeit gültige Struktur des TAMARREC-Projektes zeigt Bild 3.

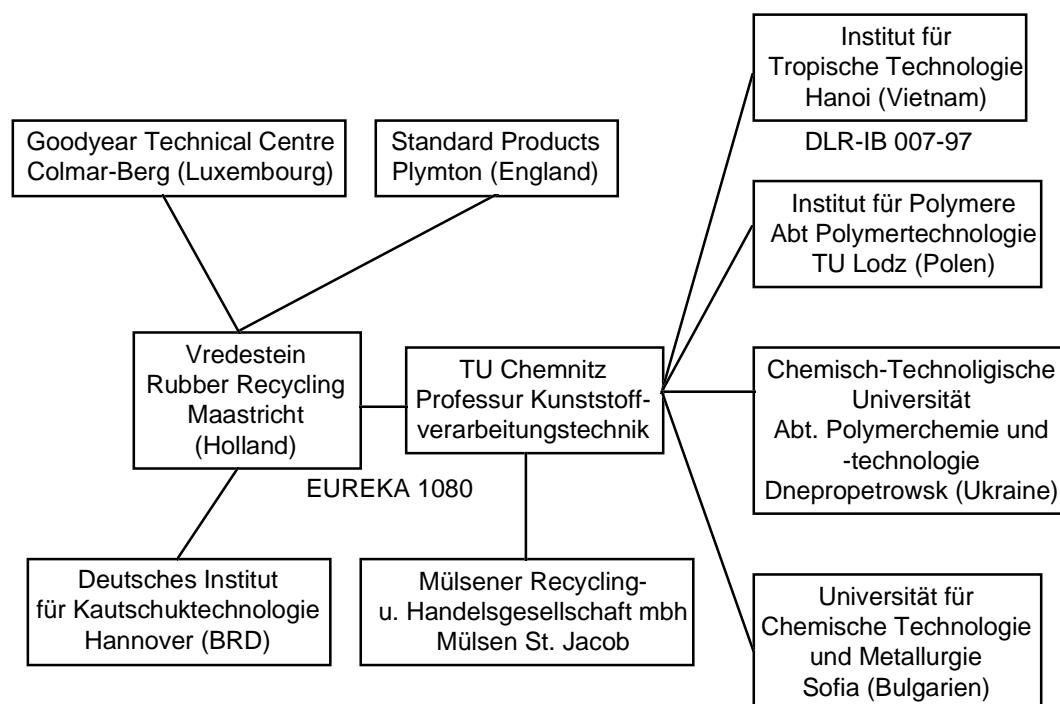


Bild 3: Netzwerkstruktur im TAMARREC-Projekt

Das TAMARREC-Projekt hatte sich das Ziel gesetzt, eine Reduzierung von Gummiabfällen durch eine Vergrößerung des Recyclinganteils von Gummi zu erreichen. Dabei sollte die gummi produzierende Industrie stärker beteiligt werden.

Das TAMARREC-Konzept stand in Übereinstimmung mit dem Gedanken, dass auch Gummiprodukte an ihrem Lebensdauerende zum Hersteller zurückkehren sollten. Arbeitsschwerpunkte des Projektes bildeten daher sowohl technologische Entwicklungen als auch die Schaffung neuer Organisationsstrukturen zwischen Gummiindustrie und Recyclern. Zur effektiven Lösung dieser anspruchsvollen wissenschaftlichen Aufgabenstellung diente auch die erfolgreich praktizierte Zusammenarbeit der TUC mit einem wissenschaftlichen Forschungsinstitut in Vietnam, der TU Lodz und je einer Universität in der Ukraine und in Bulgarien.

II.1.1.2. Zielstellung der F/E-Projektarbeiten zur werkstofflichen Verwertung von Reifengummimehl

Die wichtigste werkstoffliche Recyclingmaßnahme von Alt- und Abfallgummi ist neben der Runderneuerung von Altreifen das Mahlen der Reifen zu Gummigranulat und -mehl. Gummimehl bzw. -granulat wird in zunehmendem Maße in ausreichender Qualität und Menge zu akzeptablen Preisen auf dem europäischen Markt angeboten. Grundlegende Arbeiten zur werkstofflichen Verwertung des Gummimahlgutes (Gummimehl mit Korngrößen 0,2 ... 0,6 mm) beschreiben im wesentlichen folgende Wege:

1. die mechanische und/oder chemische Reaktivierung von Alt- und Abfallgummigranulat bzw. -mehl mit anschließender Herstellung eines homogenen gummiähnlichen Formteils (Methoden FARU Dresden - Revulcon - Patent-Nr. DE 4425049 C1 sowie Spreelast Vetschau - Relaston) und die Nutzung einer Art des flüssigen Kautschuks (Vestanamer-Hüls AG) und anderer Stoffe als Bindemittel von Gummimehl bzw. eines Latexes zur Oberflächenmodifizierung von Gummimehl (Typ SURCRUM - Vredestein Rubber Resources und Typ Myaktiv - Mühlener Recycling- und Handelsgesellschaft GmbH). Bestandteil dieser Wegrichtung ist auch das sog. De-Link-Verfahren, bei dem ein partieller Netzwerksabbau bewirkt wird. Als besonders futuristische Variante des Gummirecyclings werden die Versuche zum mikrobiellen Abbau der Schwefelvernetzung an der Gummimehloberfläche (partielle Devulkanisation) bewertet.
2. das Mischen von Gummimehl mit Kunststoffen (Herstellung eines Compounds). Während vorwiegend physikalischen Mischungen von einigen deutschen und europäischen Instituten z. B. FKUR Willich und Firmen (Gummiwerk Kraiburg, BSW Bad Berleburg) schon auf dem Markt angeboten werden, beinhaltet die neuartige Forschungsrichtung der TUC die Herstellung, Verarbeitung und Prüfung einer Elastomerlegierung aus Gummimehl und Kunststoffen nach dem Verfahren des Schmelzemischens mit dynamischer Stabilisation.

Diese letztgenannten speziellen und innovativen Forschungsarbeiten laufen im Rahmen des o. g. EUREKA/TAMARREC-Projektes. Im Ergebnis eines speziellen Verfahrensablaufes entstehen mit variabler Rezeptur Elastomerlegierungen sog. Elastomeric Alloys (EA).

Das mechanisch-physikalische Eigenschaftsbild dieser EA wird durch plastisches Deformationsverhalten der meist teilkristallinen Kunststoffmatrix (1. Phase) und dem entropieelastischen, also gummitypischen Deformationsverhalten der darin dispers verteilten elastomeren Domänen (2. Phase) bestimmt. Diese Elastomerlegierungen gehören damit zur Gruppe der Thermoplastischen Elastomere-TPE. Im Thermoplastischen Elastomer vereinen sich in idealer Weise gummitypische Anwendungseigenschaften mit thermoplastischer Verarbeitbarkeit.

In konventionellen TPE-Typen, die zu den Polymerblends gehören, sind die beiden Phasen nicht chemisch (covalent) über die Hauptvalenzen, sondern physikalisch über Nebenvalenzen thermisch labil vernetzt (Pseudovernetzung). In diesen TPEs fungiert der Thermoplast als Hartphase und der Kautschuk als weiche zweite Phase.

In eigenen Arbeiten sind TPE-ähnliche Elastomerlegierungen hergestellt worden, bei denen der Kautschuk durch Gummimehl ersetzt wurde. Als disperse elastomere Phase fungiert also nun Gummimehl, das sich genauso verhalten soll wie ein in der Thermoplastmatrix dispergiertes vernetztes Kautschukteilchen. Das Bild 4 illustriert die allgemein übliche Einteilung der TPEs und platziert die im Folgenden detailliert vorgestellten neuartigen Elastomerlegierungen.

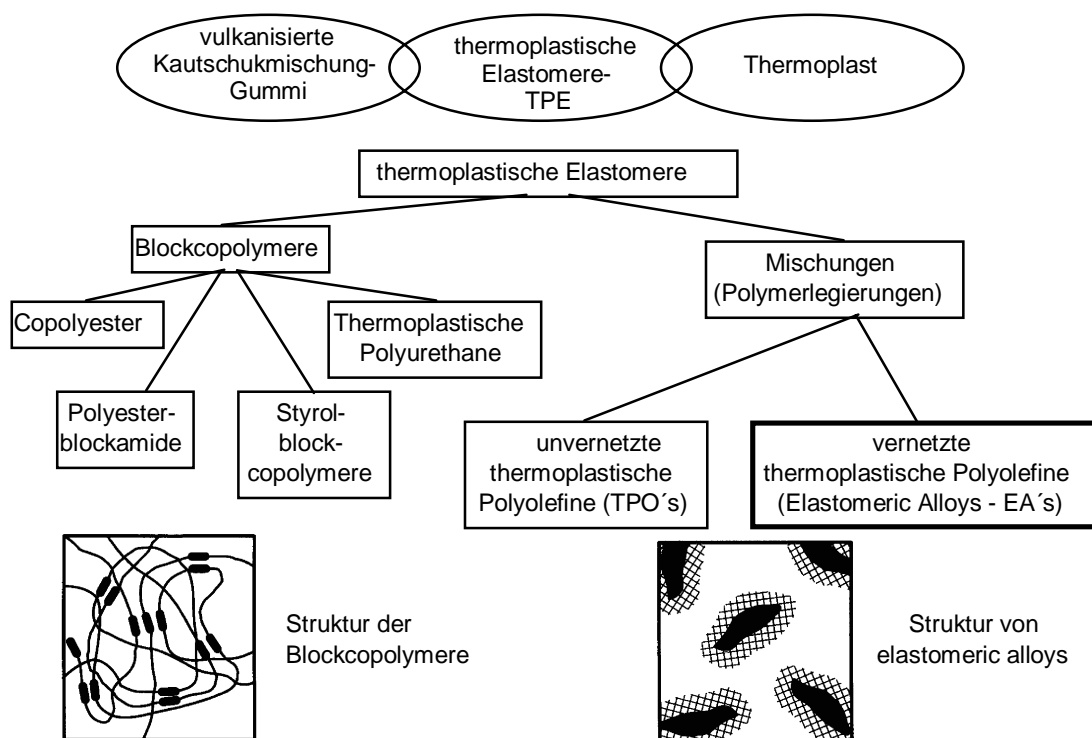


Bild 4: Nomenklatur der TPEs - Platzierung der Elastomeric Alloys

II.1.2. Die Funktion des Gummimehls als Phasenkomponente in der Elastomerlegierung

II.1.2.1. Dynamische Stabilisation von Gummimehl-Kunststoff-Compounds

II.1.2.1.1. Physikalisch-chemische Grundlagen der Rezeptur- und Verfahrensentwicklung

Die nur nach dem einfachen Schmelzemischverfahren hergestellten Compounds weisen unzureichende mechanisch-physikalische Kennwerte auf. Die Verbindungen werden im nachfolgenden als Blends bezeichnet. Das durch den dynamischen Stabilisierungsprozess eines Gemisches aus Gummimehl und Kunststoff gekennzeichnete Schmelzemischverfahren wird durch eine mechano-chemische Aktivierung (Radikalbildung) sowohl der Gummi- als auch der Kunststoffphase initiiert und kann infolge der Wirkung radikal akzeptierender Agenzien vollendet werden. Die für die Phasenkopplung notwendigen reaktiven Bereiche, z. B. Radikale, sind sowohl an der Oberfläche der Gummimehlteilchen als auch in der Kunststoffmatrix zu schaffen. Diese Reaktivierung kennt mehrere Mechanismen:

1. Von beiden Phasen wird Wasserstoff abstrahiert. Bewerkstelligt werden diese Vorgänge durch Zugabe von Radikalbildnern bzw. -donatoren.
2. Zur Radikalbildung können aber auch Kohlenstoffketten gespalten und im Gummi noch vorhandene Doppelbindungen durch mechanische und/oder chemische Behandlung aufgebrochen werden.

Als Gummiphase des EAs wurden Gummimehle aus LKW-Laufflächen, also ein NK-SBR-Verschnitt mit Korngrößen von 40 bis 60 mesh gewählt (Gummimehl M 45 - Korngröße < 0,4 mm, Gummimehl M 60 - Korngröße < 0,2 mm). Als Kunststoffphase fungiert ein isotaktisches Polypropylen, ein Polypropylengemisch aus einem Homo- und einem Copolymerisat oder vorteilhafterweise auch nur ein PP-Copolymerisat. Die Basis des Stabilisierungssystems bildet ein Peroxid eventuell wahlweise in Verbindung mit einem polyfunktionellen Additiv.

Das Hinzufügen weiterer Additive zur Rezeptur (Fasern, Weichmacher oder andere Füllstoffe) kann ebenfalls die Werkstoffcharakteristik der EAs beeinflussen. (detaillierte, hier nicht veröffentlichte EA-Werkstoffkennwerte auf Anfrage)

II.1.2.1.2. Der Schmelzemischprozess mit dynamischer Stabilisation

Die praktische Realisierung dieses miteinander gekoppelten Reaktivierungs-, Misch- und Stabilisierungsprozesses erfolgt unter hohen Scherkräften in einem Schmelzemischverfahren. Dieser Prozess läuft in einem besonders für die Gummiindustrie typischen Innenmischer ab. Zugegeben werden in Abhängigkeit prozessspezifischer Größen ein Radikaldonator, ein Radikalakzeptor sowie eventuell weitere Additive. Während des Mischprozesses laufen also physikalische, d. h. Verteilungs-, und chemische, d. h. Stabilisierungsprozesse parallel zueinander ab. Dieser Mischprozess ist deshalb von einer speziellen Charakteristik der Prozesskenngrößen Antriebsleistung der Knetwellen und der Mischguttemperatur gekennzeichnet. Die Deutung der typischen Verläufe dieser Prozessgrößen über der Mischzeit begründet die Verfahrensbezeichnung als dynamische Stabilisation. Anhand des folgenden Bildes 5 wird der typische Mischprozessverlauf erläutert.

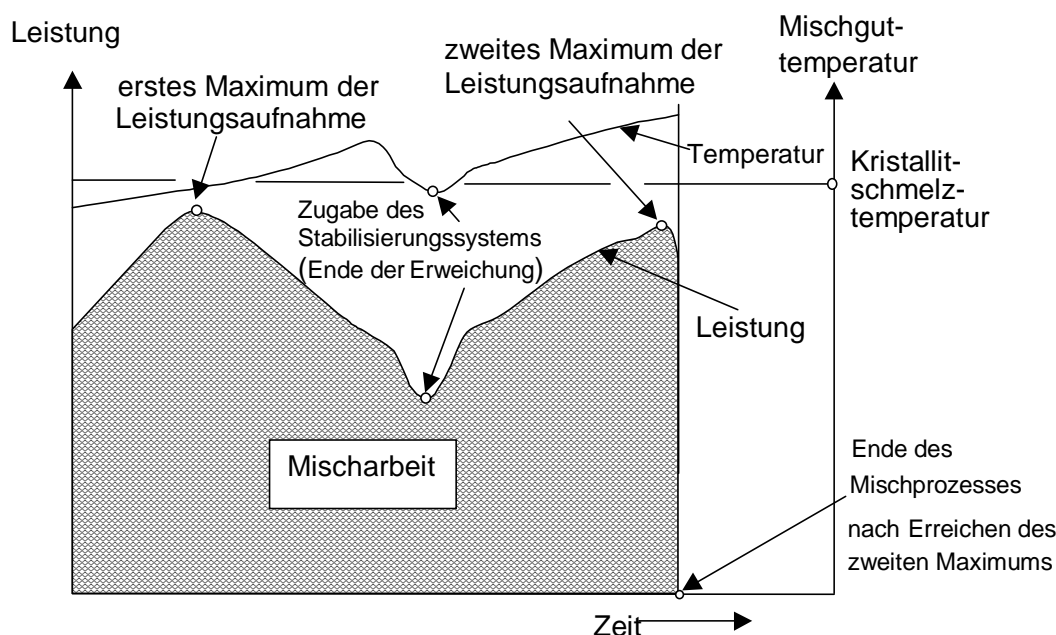


Bild 5: Typischer Leistungs- und Temperaturverlauf beim Mischen mit dynamischer Stabilisation

Die erste Leistungsspitze signalisiert die vollständige Zugabe der dosierten Menge Gummimehl und Kunststoff sowie das Stempelschließen. Der folgende Leistungsabfall beruht auf der Viskositätssenkung infolge stetig steigender Mischguttemperatur. In diesem Zeitintervall erfolgt auch die Dispergierung des Gummimehls in der thermoplastischen Matrix. Das nach Zugabe des Stabilisierungssystems sowie eventuell weiterer Additive bald auftretende zweite Leistungsmaximum deutet darauf hin, dass in der Mischung ein Stabilisierungsprozess stattgefunden haben muss. Nun erfolgen der Prozessabbruch und der Mischungsausstoß.

Reduziert sich das Stabilisierungssystem nur auf den Radikalbildner ist kein zweites Maximum in der Leistungskurve zu beobachten. Die Phasenkopplung erfolgt durch sogen. Kreuzterminierung, d. h. reine C-C-Bindung (s. a. Erläuterung zur Phasenkopplung).

Als Kriterium für die Festlegung des Abbruchzeitpunktes des reaktiven Mischprozesses wird nun die Reaktionszeit des Radikalbildners - hier speziell des aktuell verwendeten Peroxydtypes- genutzt.

Die sich dem Mischprozess anschließenden Aufbereitungsschritte der EAs in die für die Beschickung von Spritzgießmaschinen geforderte typische Granulatform zeigt Bild 6.

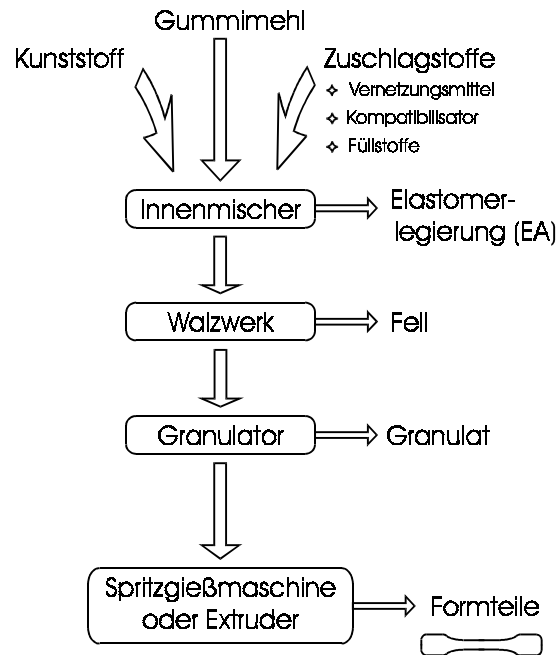


Bild 6: Grundsatztechnologie zur Herstellung von Elastomeric Alloys

II.1.3. Das Eigenschaftsbild der Elastomeric Alloys

II.1.3.1. Morphologische Struktur der Phasenkopplung

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse von stark experimentell orientierten Arbeiten konzentrieren sich darauf, sowohl ein Verfahren als auch Rezepturen zu finden, nach denen sich Elastomerlegierungen herstellen lassen, in denen sich Gummimehlteilchen in der Kunststoffmatrix genauso verhalten, d. h. die gleichen mechanisch-physikalischen Eigenschaften hervorrufen wie ein bei reinen TPEs in der Thermoplastmatrix dispergiertes, vernetztes Kautschukteilchen. Insbesondere bei der folgenden Diskussion und Bewertung des erzielten Niveaus der mechanisch-physikalischen Eigenschaften der EAs sind die Größenunterschiede zwischen Gummimehlteilchen und den vernetzten Elastomerdomänen beim Einsatz von Frischkautschuk von mindesten 100 : 1 zu beachten.

Die morphologische Struktur der EAs ist von einer dispersen Verteilung vernetzter Gummidomänen (Gummimehl) in der als Hartphase fungierenden Kunststoffmatrix gekennzeichnet. Bild 7 illustriert modellhaft, dass jede Gummidomäne von einer Phasengrenzschicht, der sogenannten 3. Phase, umgeben ist, in der die Phasenkopplung realisiert wird. (s. a. Abschnitt 3.2.5.)

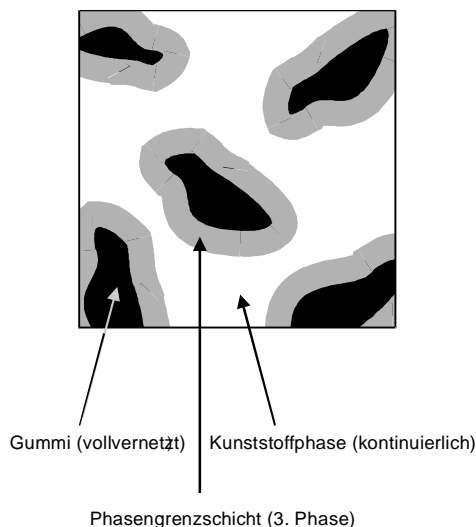


Bild 7: Morphologische Struktur der Elastomeric Alloys

An den Grenzen (in der Phasengrenzschicht) der beiden thermodynamisch unverträglichen Phasen treten folgende zwei Haupteffekte auf, die die gewünschte Kopplung, d. h. die Ausbildung der das mechanisch-physikalische und chemische Eigenschaftsniveau des EAs bestimmenden 3. Phase, bewirken:

1. Haupteffekt - Interdiffusion

Durch Interdiffusion wird eine mechanische intermolekulare Verhakung und Verschlaufung von Molekülkettensegmenten der Makromoleküle des Kunststoffs in der stark zerklüfteten Oberfläche der deshalb vorzugsweise genutzten warmgemahlene Gummimehlteilchen vollzogen.

2. Haupteffekt - Pfropfung (Grafting)

Pfropfung bedeutet die Schaffung einer Art der chemischen Bindung zwischen dem Kunststoff und dem Gummimehl. Diese chemische Bindung ist die eigentliche Ursache für die Ausbildung der gewünschten gummitypischen Eigenschaften der Elastomeric Alloys. Im Bild 8 wird am Modell aufgezeigt, welche Wirkung und Folgen die Zugabe von Radikalakzeptoren bei der peroxidinitiierten dynamischen Stabilisation von Polypropylen-Gummimehl-Compounds hat.

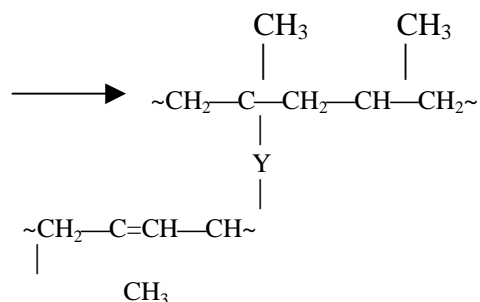
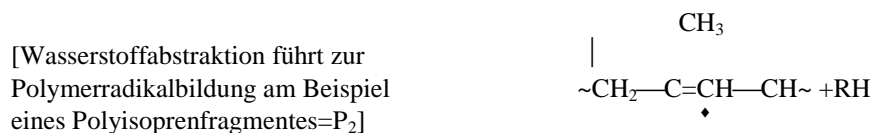
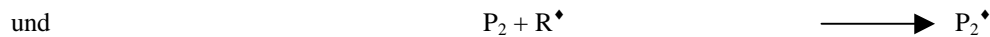


Bild 8: Modell der Radikalbildung und Phasenkopplung

Um den Vorgang der Phasenkopplung einzuleiten, ist die Zugabe und Wirkung eines Stabilisierungssystems, bestehend aus Radikalbildner (-donator) und ggf. einem -akzeptor nötig. Dabei fungiert z. B. Peroxid als Radikalbildner an den C-Atomen sowohl des Gummis als auch des Polypropylens. Beim Polypropylen ist dieser Radikalbildungsprozess von einer Verengung der Molmasseverteilung gekennzeichnet und wird deshalb auch als Abbau oder auch als Degradation bzw. β -scission bezeichnet.

Um nur den gewünschten Effekt der Radikalbildung zuzulassen und die unerwünschte β -scission zu stoppen, kann der Zusatz eines rasch und zuerst am Polypropylen wirkenden Radikalfängers (Co-agenten), z. B. Schwefel oder andere spezielle polyfunktionelle Monomere, notwendig sein. Dieser Schwefel ist dabei zum einen noch als freier Schwefel besonders an der Oberfläche von frisch gemahlenem Gummimehl vorhanden, zum anderen kann er neben dem Peroxid zum zugegebenen Stabilisierungssystem gehören. Der Radikalfänger, z. B. Schwefel, bildet nun zwischen den Polypropylenmolekülen und den Gummimehlteilchen mono-, di- oder polysulfidische Brücken. Außer dieser insitu-Bildung von Block-Co-Polymeren (3. Phase) kann die Phasenkopplung auch nur durch Kreuzterminierung beider Phasen untereinander, das heißt durch eine reine C-C-Bindung, realisiert werden. Das Compound ist dynamisch stabilisiert.

Nachweis- und quantifizierbar werden die in der Zwischenphase durch Phasenkopplung wirkenden mechanischen oder chemischen Bindungskräfte mit folgenden Prüfmethode:

1. Kontrolle der Viskositätszunahme (Bestimmung der Maxima in der Antriebsleistungskurve) des Gummimehl-Kunststoff-Gemischs während des Schmelzemischprozesses (s. Abschnitt 2.1.2. Bild 5)
2. Bestimmung typischer mechanisch-physikalischer Werkstoffkennwerte der EAs, wie z. B. Zugfestigkeit und Reißdehnung, Zug- und Druckverformungsrest, Härte u. a. (s. Abschnitte 3.2.2, und 3.2.3.)
3. Vergleich spezieller Werkstoffkennwerte, z. B. der Glasübergangstemperatur und anderer Kennwerte der dynamisch-mechanischen Eigenschaften mittels DMTA-Messung (s. Abschnitt 3.2.4.)
4. Beobachtung der Gummidomänenverteilung und -einbettung in die Thermoplastmatrix sowie Kopplungseffekte - beobachtet an Aufnahmen mit dem Elektronenmikroskop (s. Abschnitt 3.2.5.)
5. Bestimmung der chemisch an das Gummimehl gebundenen Polypropylenanteile in Quell- und Extraktionsversuchen (s. a. Abschnitt 3.2.7.) Weitere systematische Untersuchungen sollten auch Gegenstand zukünftiger Arbeiten sein (Zusammenarbeit mit TU Lodz (Polen))
6. Auswertung von Prüfergebnissen bewitterter EA-Werkstoffproben (s. Abschnitt 3.2.6.)

II.1.3.2. Eigenschaftskennwerte der Elastomeric Alloys

II.1.3.2.1. Viskositätsuntersuchungen

Die hergestellten EAs zeichnen sich durch für TPEs typische thermoplastische Verarbeitbarkeit aus. Sie sind nach konventioneller Spritzgießtechnologie verarbeitbar. Im für das Spritzgießen typischen Schergeschwindigkeitsbereich von ca. 10^4 s^{-1} unterscheiden sich das als Matrixphase gewählte Polypropylen und auch das Blend bzw. das EA bezüglich der sich einstellenden Viskosität kaum. Etwaige daraus resultierende Verarbeitungsbesonderheiten können durch spezielle Wahl der Einstellung technologischer Parameter der Spritzgießmaschine problemlos ausgeglichen werden.

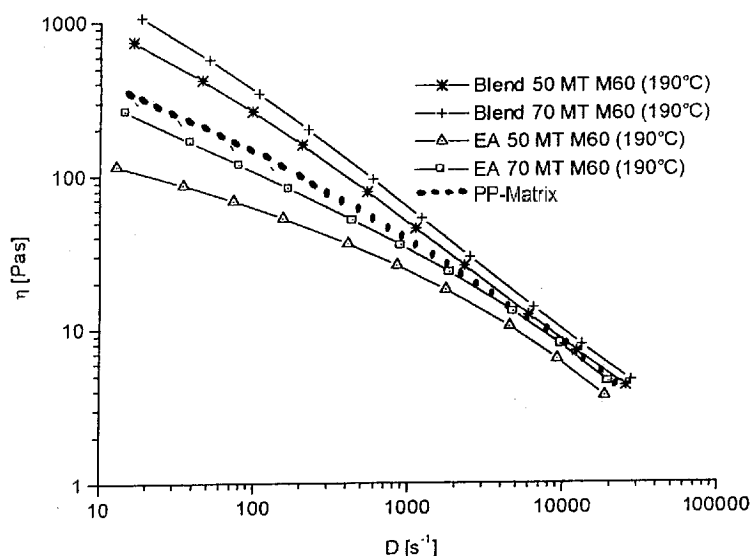


Bild 9: Viskositätsverläufe über der Schergeschwindigkeit

II.1.3.2.2. Statische Werkstoffkennwerte

Zugfestigkeit und Reißdehnung (DIN 53 455-5-3)

Aus den EAs herstellbare Prüfkörper zeigen ein spezielles, rezepturabhängiges, dem Gummi nahekommendes Eigenschaftsprofil. Das Säulendiagramm im Bild 10 illustriert wichtige Werkstoffeigenschaften wie Zugfestigkeit und Reißdehnung. Mit der praktizierten Herstellungs- und Verarbeitungstechnik der EAs konnten reproduzierbar Zugfestigkeiten bis 20 MPa und Reißdehnungen bis 280 % erzielt werden.

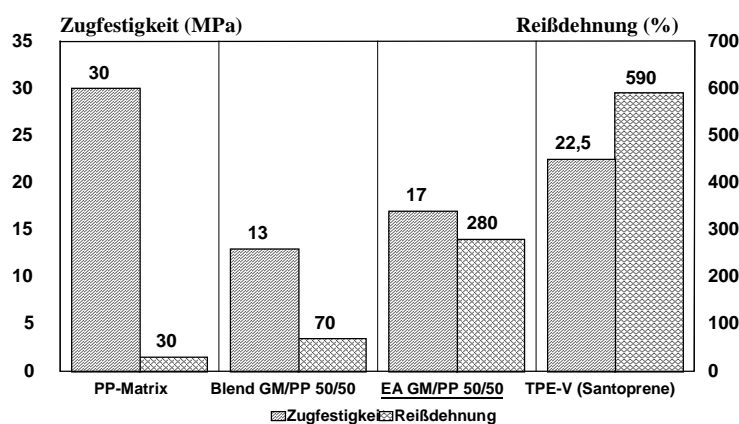


Bild 10: Zugfestigkeit und Reißdehnung der Thermoplastmatrix, der unstabilierten Mischung (Blend), des EAs sowie eines handelsüblichen TPEs mit vergleichbarer Härte von ca. 40 ShD

Dass auch die Rezeptur, d. h. hier insbesondere die Radikaldonatorkonzentration einen großen Einfluss auf die mechanisch-physikalischen Werkstoffcharakteristik hat, wird im Bild 11 gezeigt. Für die Zugfestigkeit und die Reißdehnung gibt es ein

Konzentrationsmaximum des als Radikaldonator wirkenden Peroxides. Mit zunehmendem Anteil des Peroxides verringert sich der Zugverformungsrest stetig.

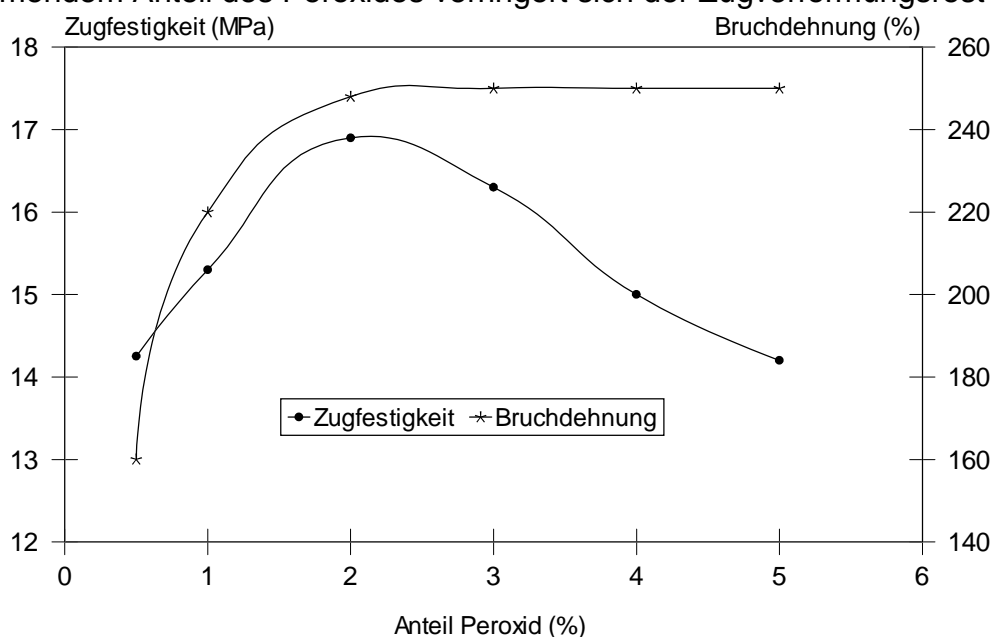


Bild 11: Einfluss der Konzentration des Peroxides auf mechanisch-physikalische Werkstoffkennwerte der EAs

Zugverformungsrest (DIN 7724 und 53518)

Der Grenzwert des Zugverformungsrestes von < 50 % markiert die eindeutige Zuordnung von Werkstoffen zu den TPE. Der an den Elastomerlegierungen gemessene Wert liegt immer unter diesem charakteristischen Wert und begründet damit die Zugehörigkeit der dynamisch stabilisierten Gummimehl-Kunststoff-Compounds zu den Thermoplastischen Elastomeren.

Besonders bei hohem Anteil disperser elastomerer Phase, d. h. viel Gummimehl in der Kunststoffmatrix, werden hervorragende Zugverformungsreste erreicht. So zeigt ein EA aus 70 MT Gummimehl und 30 MT Polypropylen eine Shore-D-Härte von 40 und einen nach DIN 7724 gemessenen Zugverformungsrest von deutlich unter 40 %.

Schlagzähigkeit (ISO 179-1/1 eC)

Die Werte der Prüfung der Schlagzähigkeit a_{cu} bei -20 °C nach Charpy lauten:

Tabelle 1

Rezeptur [MT] Gummimehl/PP/Radikalbildner	a_{cu}
Blend 50/50	45,4 kJ/m ²
Blend 70/30	53,5 kJ/m ²
EA 50/50/2	o. Bruch
EA 70/30/2	o. Bruch

Der Effekt des höheren Energieaufnahmevermögens der EAs besonders in der Kälte findet auch im höheren Niveau des $\tan \delta$ qualitativen Ausdruck. (s. a. Abschnitt 3.3)

II.1.3.2.3. Dynamische Werkstoffkennwerte

In kraft- oder dehnungsgesteuerten Hystereseversuchen lassen sich Beanspruchungsgrenzen der eingesetzten Werkstoffe charakterisieren. Mittels eines dehnungsgesteuerten Stufenversuches mit einer konstanten Steigerung der Dehnungswerte um jeweils 20 % wurden die bleibenden Dehnungen nach der Entlastung ermittelt.

Während bei Thermoplasten mit ihrem hohen E-Modul bei Realisierung dieses Prüfregimes hohe bleibende Dehnungen durch die Kaltver Streckung der Makromoleküle festgestellt werden können, zeigt reiner Gummi mit seinem geringen E-Modul kaum bleibende Dehnungen bei einem flachen Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Kurve. Bei Thermoplastischen Elastomeren erfolgt im Gegensatz zum Spannungs-Dehnungs-Verlauf von Thermoplasten ein flacherer Verlauf im Bereich kleinerer Dehnungen, während der Elastomeranteil zu geringeren bleibenden Dehnungen führt. Das EA zeigt im Gegensatz zum Blend geringere bleibende Dehnungen besonders bei höheren Spannungen und kleineren Korngrößen des Gummimehls. In den Bildern 12 und 13 ist bei dynamisch stabilisierten Compounds eine wesentlich geringere bleibende Dehnung als bei den Blends festzustellen, die eher thermoplastischen Charakter zeigen.

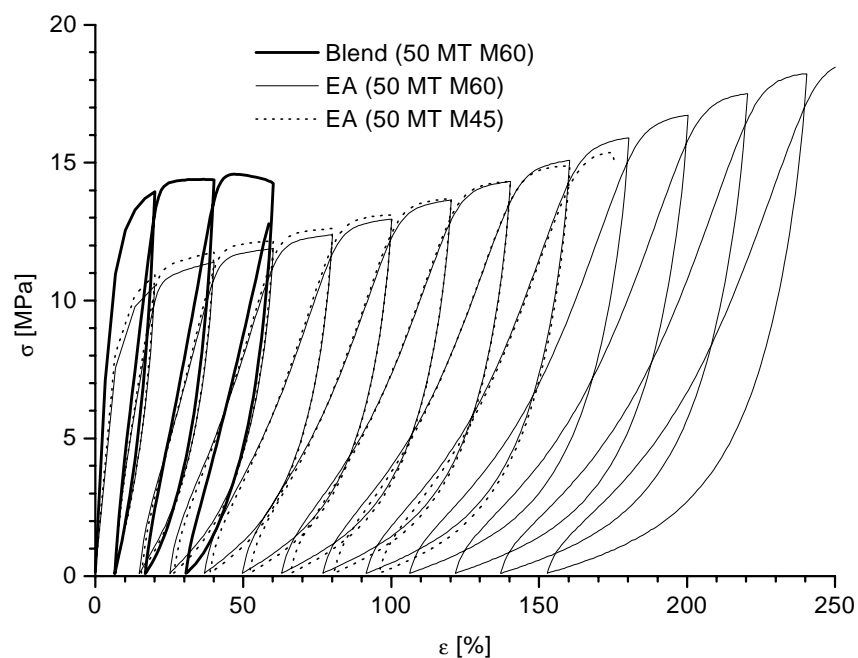


Bild 12: Ergebnisse des Stufenversuches bei Blend und EA's mit 50 MT Gummimehl

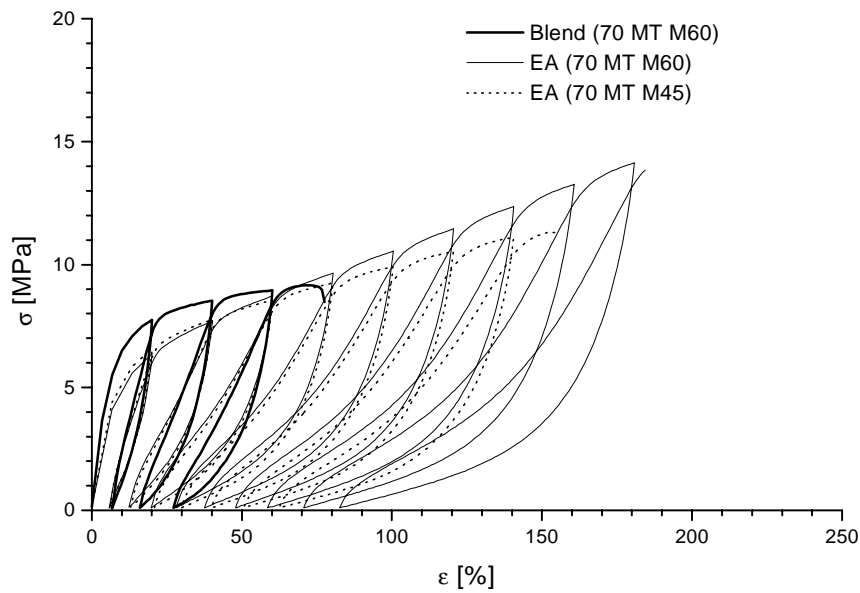


Bild 13: Ergebnisse des Stufenversuches bei Blend und EA's mit 70 MT Gummimehl

Wie aus diesen Bildern ersichtlich, zeigen die Kurven der untersuchten Elastomerlegierungen bei höherem Anteil Altreifenmehl und dabei steigenden Werten des Verlustmoduls einen flacheren Verlauf und damit erwartungsgemäß ein elastomertypisches Eigenschaftsbild. Bei Einsatz von Altreifenmehl größerer Korngröße ergibt sich ein ähnlicher aber verkürzter Verlauf der Messkurve. Bei geringerem Anteil der Thermoplastphase im Compound kommt es bei geringeren Kräften zu plastischem Fließen. Erst nach dem plastischen Fließen des Matrixmaterials können auch die Elastomerpartikel Belastungen aufnehmen.

Durch höheren Elastomeranteil können die Werte der bleibenden Dehnung enorm verringert und damit die Werte der Zugverformungsreste (ZVR) verbessert werden. Im Bild 14 sind die bleibenden Dehnungen als Zugverformungsreste über der Dehnung aufgetragen.

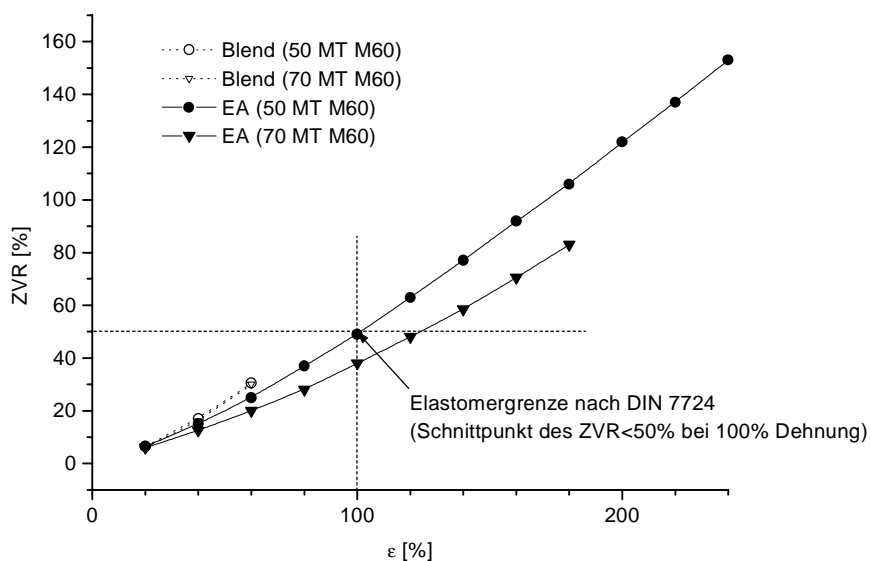


Bild 14: ZVR über der Dehnung von Blends und EA's mit unterschiedlichem Gummimehlgehalt

Deutlich ist der verbesserte (verringerte Zugverformungsrest) der EA's im Vergleich zu den Blends erkennbar. Während die Konzentration der dispersen elastomeren Phase hinsichtlich des Zugverformungsrestes der Blends keine Rolle spielt, kann der Zugverformungsrest der EA's mit einem erhöhten Anteil der dispersen elastomeren Phase verbessert werden.

II.1.3.2.4. Thermisch-dynamomechanische Charakteristik

Die Auswertung von DMTA-Kurven lässt Aussagen zur Phasenbindung zu. Im Bild 15 sind die Verläufe des Verlustfaktors $\tan\delta$ über der Temperatur für die Grundbestandteile der EA-Rezepturen (Gummimehl und Polypropylen) und für ein typisches EA (50 MT Gummimehl) sowie ein Blend zum gegenseitigen Vergleich aufgezeichnet. Der aus dem reinen Gummimehl durch Kompressionspressen hergestellte Prüfkörper zeigt das höchste und das die Matrix bildende Polypropylengemisch das niedrigste Dämpfungsverhalten. Beide Rezepturkomponenten sind einphasig (eine T_g - Glasübergangstemperatur). Die Kurvenzüge des $\tan\delta$ vom Blend und dem EA verlaufen selbstverständlich zwischen denen vom Gummimehl und der Kunststoffmatrix. Der die Zweiphasigkeit des EAs kennzeichnende Verlauf und insbesondere das höhere $\tan\delta$ - Niveau im ersten Glasübergangspunkt sowie das schon bei tieferen Temperaturen (2. T_g) erreichte $\tan\delta$ - Niveau der Thermoplastphase deuten darauf hin, dass eine Phasenkopplung zwischen Gummimehl und Kunststoff stattgefunden haben muss.

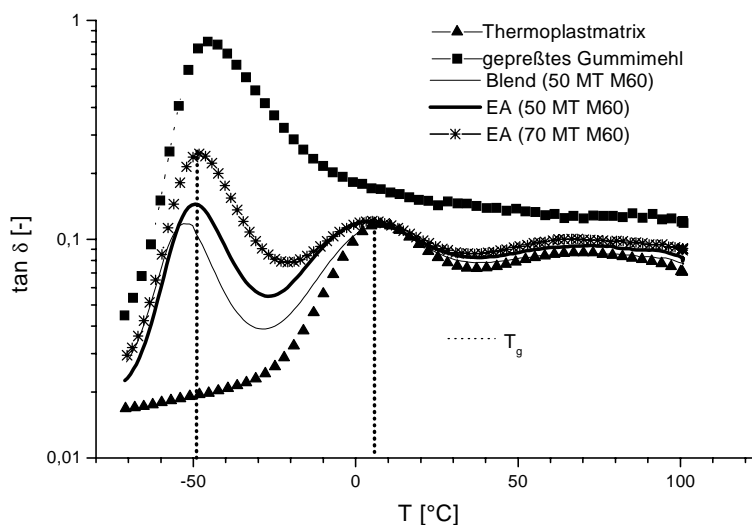


Bild 15: Gegenüberstellung der Verläufe der Verlustfaktoren $\tan\delta$

Im Bild 16 sind der Verlustfaktor $\tan\delta$ und der Speichermodul E' sowie der Verlustmodul E'' der EAs dargestellt. Schon aus deren zum TPE ähnlichen Verlauf und auch ausgewählter charakteristischer Punkte (Glasübergangstemperaturen), die die Zweiphasigkeit kennzeichnen, ist zu schlussfolgern, dass das Elastomeric Alloy, wie schon durch den Zugverformungsrest bewiesen, auch zu Recht als Thermoplastisches Elastomer bezeichnet werden darf.

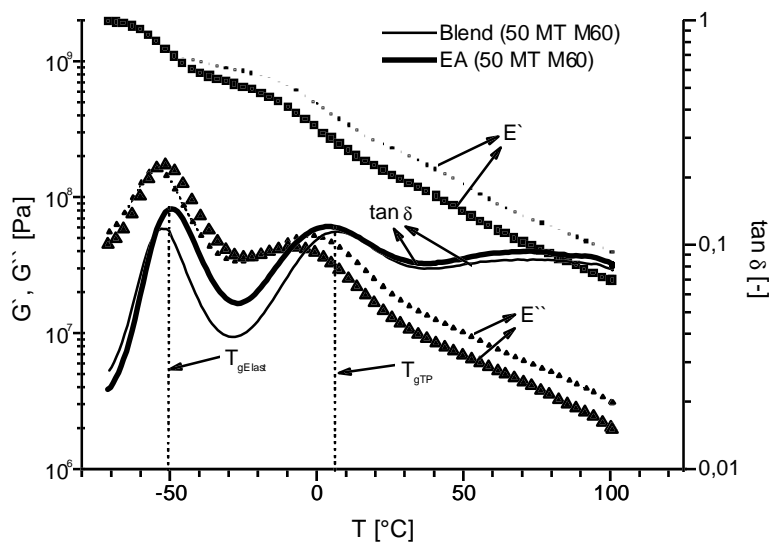


Bild 16: Ergebnisse der DMTA-Prüfung

Durch höheren Verlustmodul und den das Dämpfungsverhalten des Werkstoffs kennzeichnenden Verlustfaktor $\tan\delta$ kommt es bei Verwendung der EAs, insbesondere bei tiefen Temperaturen, zu einer infolge höherer Dämpfung verbesserten Energieabsorption im durch Schlag und Stoß belasteten technischen Formteil.

II.1.3.2.5. Interpretation mikroskopischer Untersuchungsergebnisse

Im folgenden sollen Ergebnisse von Arbeiten vorgestellt werden, die in Zusammenarbeit mit dem IPF Dresden und dem ITT Hanoi erzielt wurden. Mittels REM-Technik wurde versucht, die Phasengrenze zwischen Matrix und disperser Phase sichtbar zu machen. Diese Morphologieuntersuchungen können Erklärungen für die in statischen und dynamischen Prüfungen ermittelten mechanisch-physikalischen Werkstoffkennwerte liefern. Wie aus Bild 17 ersichtlich, kann aus den REM-Aufnahmen von Cryobrüchen auf eine innige Einbettung der Gummimehldomänen in die Polypropylenmatrix geschlossen werden.

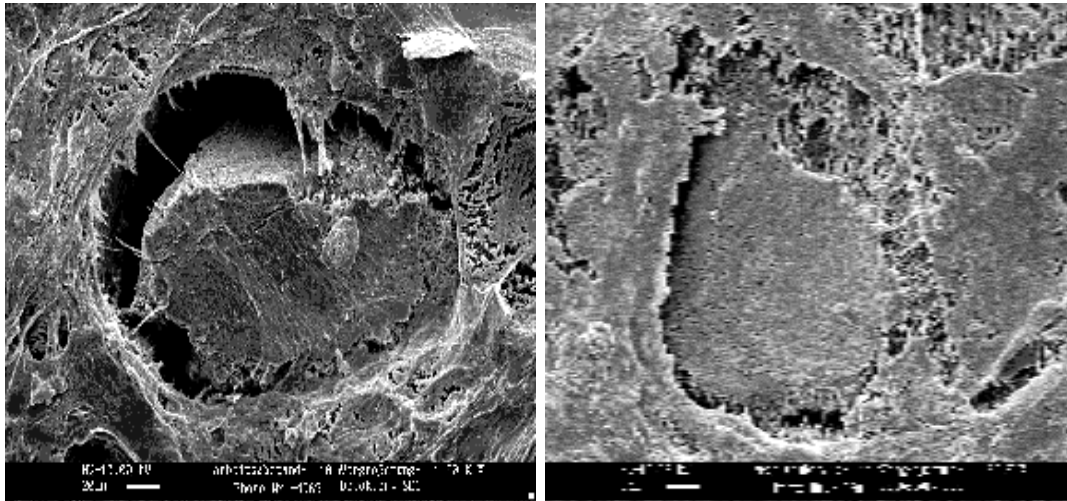


Bild 17: REM-Aufnahmen der angeätzten Cryo-Bruchoberfläche eines Blends (links) und eines EAs (rechts), Vergrößerung 1000-fach

Der Probenanschnitt erfolgte unterhalb der Glasübergangstemperatur der dispersen elastomeren Phase bei -60 °C . Da an diesen Bruchflächen die Strukturen nur schwer zu erkennen waren, erfolgte zur Kontrastierung ein Anätzen mittels Xylen bei 102 °C .

Bei hohen Vergrößerungen sind im Bild 17 an den Phasengrenzen von Gummimehl und Kunststoff hohlraumähnliche Strukturen zu erkennen. Beim EA deuten fibrillenähnliche Strukturen auf eine hochwertige Anbindung (Phasenkopplung) der Gummimehlteilchen an die Thermoplastmatrix.

Noch deutlicher wäre dieser durch Phasenkopplung hervorgerufene Effekt bei einer 2500-fachen Vergrößerung zu sehen.

II.1.3.2.6. Bewitterungsbeständigkeit

II.1.3.2.6.1. Zielstellung der Untersuchungen

Im Ergebnis der künstlichen und natürlichen Bewitterung von Prüfkörpern (Schulterstäbe nach DIN 53 455) sollte in Abhängigkeit von der Rezeptur (Blends oder Elastomerlegierungen mit unterschiedlichen Gummimehlanteilen) geklärt werden, welchen Einfluss klimatische Bedingungen wie z. B.

- UV-Strahlung

- Ozon-Belastung
- Luftfeuchte
- Umgebungstemperatur

auf die statischen Prüfwerte ausüben.

Die Ergebnisse sollten Erkenntnisse für praktische Anwendungsfälle der Elastomerlegierungen für technische Formteile liefern.

II.1.3.2.6.2.Künstliche Bewitterung

- UV-Belastung

Die Simulation der durch UV-Belastung hervorgerufenen Alterungsprozesse erfolgt nach einem von der Fa.- Pausch-Messtechnik empfohlenem Programm.

Tabelle 2 Prüfbedingungen

Methode:	DIN 53384-A, ISO 4892-3
Probenkörper:	Schulterstäbe, DIN 53455, ca. 150 mm x 10 mm x 4 mm
Vorbehandlung:	keine
Bewitterungsgerät:	QUV/se
Hersteller:	Q-Panel Lab Products, Cleveland
Lampentyp:	UV-A 340
Prüfzyklus:	8 Stunden UV-Bestrahlung 4 Stunden Kondensation
Temperatur:	60 °C im UV-Zyklus 50 °C im Kondensations-Zyklus
Gesamtanspruchsdauer:	168 Stunden
Strahlungsstärke:	0,77 W/m ² bei 340 nm

Das Bild 18 zeigt den Einfluss von konzentrierter UV-Strahlung auf die Zugfestigkeit der Elastomerlegierungen.

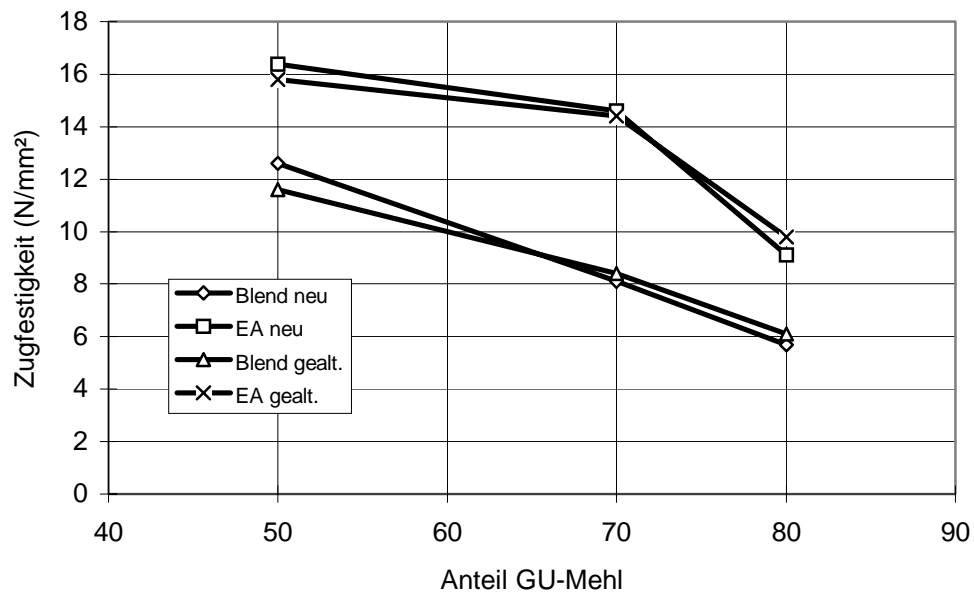


Bild 18: Zugfestigkeit als Funktion der UV-Bestrahlung und des Gummimehlanteils

Ähnlich geringen Einfluß übt die UV-Bestrahlung auch auf die Bruchdehnung und den E-Modul aus.

- Ozon-Belastung

Prüfbedingungen zur Bewertung der Ozon-Beständigkeit lauten:
(Prüfung über Auftragsvergabe bei Phoenix AG, Thüringen)

Ozonkonzentration: 50
 Prüftemperatur: 23 °C
 Prüfdauer: 48 h
 Relative Luftfeuchte: 55 %

Das folgende Bild 19 zeigt die Veränderungen der Zugfestigkeit von ozonbelasteten gegenüber den unbehandelten Proben .

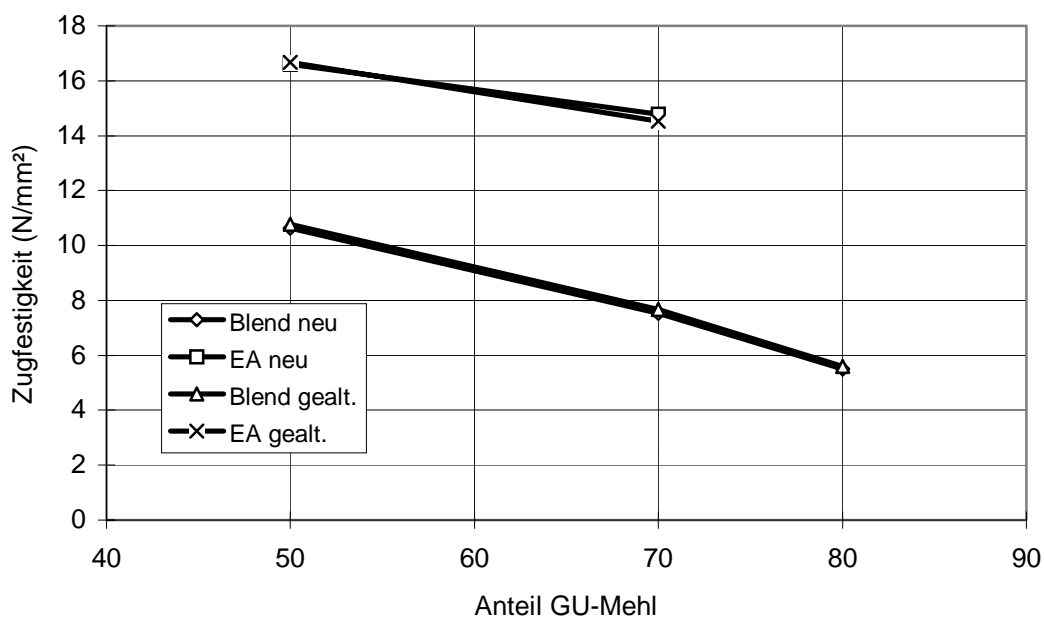


Bild 19: Zugfestigkeit als Funktion der Ozon-Belastung und der Rezeptur

Sowohl die Prüfergebnisse der UV-bestrahlten Werkstoffproben als auch der ozonbelasteten Prüfkörper lassen erkennen, dass sowohl die Zugfestigkeiten als auch der E-Modul nur wenig beeinflusst werden. Die Abnahmen der Dehnungswerte sind Alterungserscheinungen zuzuordnen, die bei allen Elastomerlegierungen, sowie reinen Elasten oder Kunststoffen auch ohne besondere Umwelteinflüsse, auftreten.

II.1.3.2.6.3. Natürliche Bewitterung

Tabelle 3 Rezepturen der Elastomerlegierungen:

Rezepturbezeichnung	Massetteile		
	Gummimehl	Kunststoff	Radikalbildner
B 1	50	50	-
B 2	70	30	-
B 3	80	20	-
EA 1	50	50	2
EA 2	70	30	2
EA 3	80	20	2

Um die Untersuchungen effektiv durchführen zu können, war eine Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern und die Vergabe von Aufträgen an inländischen Auftragnehmern notwendig.

Im Rahmen eines von der DLR-IB geförderten Projektes VNM 97/007 konnten die Versuche zur natürlichen Bewitterung unter tropischen Bedingungen in Vietnam erfolgen.

Über die Firma Pausch-Messtechnik, die einen Teil der künstlichen Bewitterung übernahm, wurde eine zusätzliche natürliche Bewitterung von Proben in Arizona (USA) möglich.

Die Bewitterungen erfolgten in Vietnam und in den USA

- Halong Bay (feucht-warm)
- Arizona (trocken-warm)

im Zeitraum Juli-Dezember 1999 (detaillierte Klimatabellen liegen vor)

Die Bilder 20 und 21 zeigen Veränderungen der Werkstoffcharakteristik am Beispiel der Zugfestigkeit als Funktion der Rezeptur und der Einwirkungszeit der jeweiligen klimatischen Bedingungen.

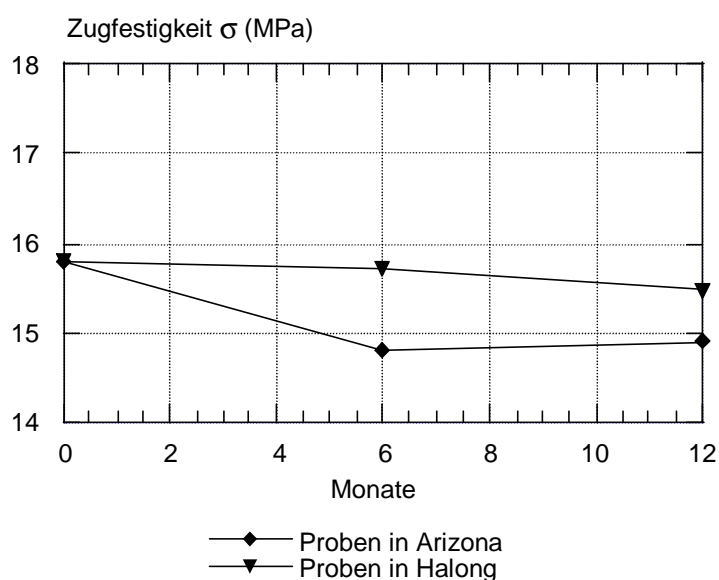


Bild 20: Zugfestigkeit der EA Probe Nr. 1 als Funktion der Bewitterungszeit und des Bewitterungsortes.

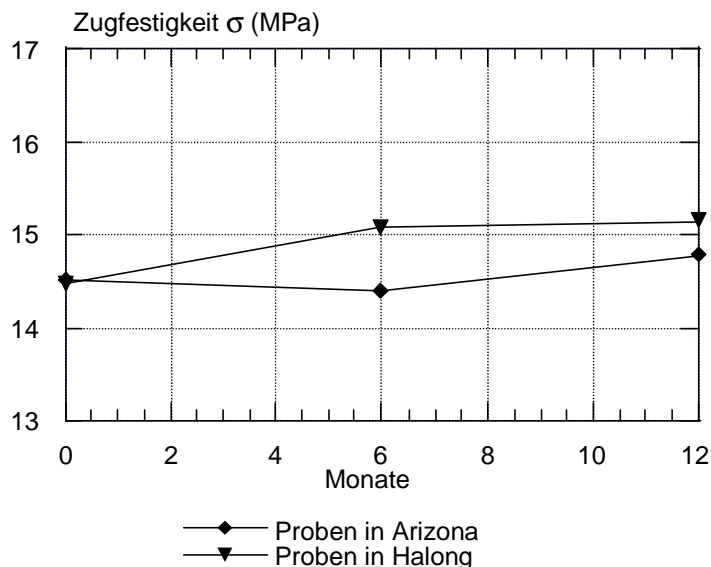


Bild 21: Zugfestigkeit von EA2 als Funktion der Bewitterungszeit und des Bewitterungsortes.

Besonders bei den in Arizona gelagerten Proben ergibt sich weiterhin, dass unter den Bedingungen der dort herrschenden klimatischen Verhältnisse die Bruchdehnung spürbar abnimmt, dies gilt sowohl für die EAs als auch für das handelsübliche TPE-Santopren. Alle im trocken-heißem Klima gelagerten Prüfstäbe zeigten auch eine deutlich rauhere Oberfläche.

Der Einfluss des feucht-warmen Klimas in Vietnam ist deutlich geringer, die Alterung verläuft nur unwesentlich schneller als bei in Deutschland unter typischen Laborraumbedingungen ($23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, 50 % Luftfeuchte) gelagerten Proben.

II.1.3.2.7. Medienverhalten

Die Elastomerlegierungen sind auf Grund ihrer TPE-typischen Eigenschaftscharakteristik hervorragend für die Herstellung und den Gebrauch in technischen Formteilen, insbesondere im Kraft- und Schienenfahrzeugbau sowie in der Bau- und Landwirtschaft geeignet. An den Werkstoff für solche Formteile werden auch hohe Anforderungen bezüglich seiner Medienbeständigkeit gestellt. Von besonderer Bedeutung für den Nachweis der Eignung als technischer Werkstoff sind deshalb die Prüfungen auf etwaige Veränderungen der Werkstoffprüfwerte infolge des Angriffs u. U. aggressiver oder quellender Medien.

- Medienbeständigkeit

Aus den in folgenden Tabellen 4 und 5 aufgelisteten Prüfwerten der Zugfestigkeit und der Reißdehnung ist abzuleiten, dass die Elastomerlegierungen als medienbeständig gelten können. Dies gilt sowohl für sehr lange Medienangriffszeiten - hier 16 Wochen bei Raumtemperatur, als auch für die Medieneinwirkung unter "verschärften" Bedingungen - hier 24 h Lagerung der Elastomerlegierungen im Prüfmedium bei 70 °C .

Tabelle 4

Medienbeständigkeit
Lagerbedingungen: 16 Wochen bei Raumtemperatur

Medium	Rezeptur Gummimehl/Polypropylen/Radikalbildner in MT					
	50/50/2		70/30/2		80/20/2	
	σ [N/mm ²]	ϵ [%]	σ [N/mm ²]	ϵ [%]	σ [N/mm ²]	ϵ [%]
ohne	16,9	282,9	14,6	243,4	10,6	193,9
Luft	16,9	276,4	14,7	242,2	11,3	194,0
Wasser	16,7	274,6	14,5	240,7	10,9	194,4
Na Cl (10 %)	16,7	273,6	14,1	211,1	10,6	185,7
Na OH (40 %)	17,0	286,7	14,9	251,3	10,9	194,4
H Cl (36 %)	16,4	245,7	13,9	192,2	10,7	142,0
Mineralöl	16,8	274,1	14,1	236,8	9,4	160,7

Tabelle 5

Medienbeständigkeit
Lagerbedingungen: 24 h bei 70 °C

Medium	Rezeptur Gummimehl/Polypropylen/Radikalbildner in MT					
	50/50/2		70/30/2		80/20/2	
	σ [N/mm ²]	ϵ [%]	σ [N/mm ²]	ϵ [%]	σ [N/mm ²]	ϵ [%]
ohne	16,9	282,9	14,6	243,4	10,6	193,9
Luft	16,5	251,9	14,6	233,9	10,5	183,1
Wasser	16,6	261,9	14,8	242,7	10,4	178,1
Na Cl (10 %)	16,9	273,7	14,6	239,6	10,2	173,2
Na OH (40 %)	16,6	264,9	14,4	239,2	10,9	188,5
H Cl (36 %)	15,1	196,8	9,7	130,6	10,4	167,7
Mineralöl	16,4	267,3	13,4	222,3	9,0	161,0

Insbesondere bei hohen Masse-Anteilen von Gummimehl in der Rezeptur sollten zusätzliche Prüfungen mit entsprechenden Kontaktmedien durchgeführt werden.

- Quelluntersuchungen

Lagerbedingungen : in Anlehnung an DIN 53521 bei $23 \pm 2^\circ\text{C}$ und 168 h

In Tabelle 6 sind bei Einhaltung vorgegebener Prüfbedingungen als Prüfkriterien die Massezunahme und die Volumenzunahme als Funktion des Angriffs quellender Medien aufgelistet.

Tabelle 6

	p-Xylol	ASTM-Öl 3	Trichloräthylen	n-Hexan
Rezeptur in MT Gummimehl/Polypropylen/ Radikaldonator	Volumenzunahme in %			
Blend 50/50 (B1)	70,70	7,26	80,53	38,11
EA 50/50/2 (EA1)	66,28	6,48	77,56	37,37
Blend 70/30 (B2)	108,05	10,47	11,90	65,25
EA 70/30/2 (EA2)	91,27	8,52	106,76	52,74
Blend 80/20 (B3)	140,84	13,37	168,50	56,33
EA 80/20/2 (EA3)	113,27	13,28	114,48	49,74
Rezeptur in MT Gummimehl/Polypropylen/ Radikaldonator	Gewichtszunahme in %			
Blend 50/50 (B1)	63,71	2,62	106,72	25,69
EA 50/50/2 (EA1)	56,43	2,11	114,49	23,65
Blend 70/30 (B2)	92,49	6,23	167,13	39,24
EA 70/30/2 (EA2)	80,53	5,39	152,38	34,88
Blend 80/20 (B3)	120,34	10,71	239,51	38,90
EA 80/20/2 (EA3)	100,39	10,27	167,22	33,30

Die Prüfwerte der Volumen- und Gewichtszunahme weisen nach, dass durch die in der Elastomerlegierung vollzogene Phasenkopplung (dynamische Stabilisierung des Gemisches aus Gummimehl und Kunststoff) die Wirkungen des Angriffs aggressiver Medien vermindert werden können.

II.1.4. Effekte, die die Ökonomie des Verfahrens und der Verwendung der EAs bestimmen

Die nachweisbaren ökonomisch günstigen Effekte der Herstellung und Anwendung von EAs gründen auf einer bemerkenswerten stofflich-technologischen Besonderheit. Der mit einer möglichen Matrixvernetzung des Polypropylens unvermeidlich verbundene Abfall von Zugfestigkeit und Reißdehnung infolge Zerstörung von Vernetzungsbrücken während der wiederholten Verarbeitung (Recycling) tritt bei den dynamisch stabilisierten Compounds - EAs - aus Gummimehl und Polypropylen nur in geringstem Maße auf. Die EAs sind voll recycelbar und zeigen auch nach 8-facher Verarbeitung keinen signifikanten Werteverlust ausgewählter wichtiger mechanisch-physikalischer Werkstoffkennwerte.

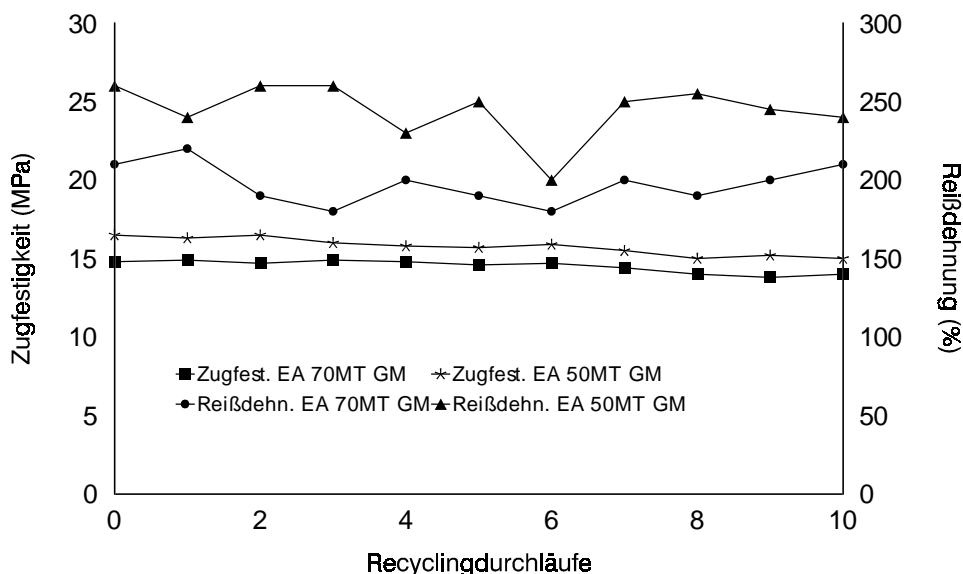


Bild 22: Zugfestigkeit und Reißdehnung als Funktion der Anzahl der Recyclingzyklen (EA-Rezeptur: 50 MT Gummimehl, 50 MT Polypropylen, 3 MT Stabilisierungssystem)

Von besonderem hervorhebenswertem Vorteil ist der Preis der neuen Elastomerlegierungen, der mit 2 bis 3 DM nur der Hälfte bis einem Drittel des Einkaufspreises von frei verkäuflichen marktgängigen dynamischen Vulkanisaten mit vernetzter disperser elastomerer Phase der gleichen Härteklasse entspricht. Bild 23 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

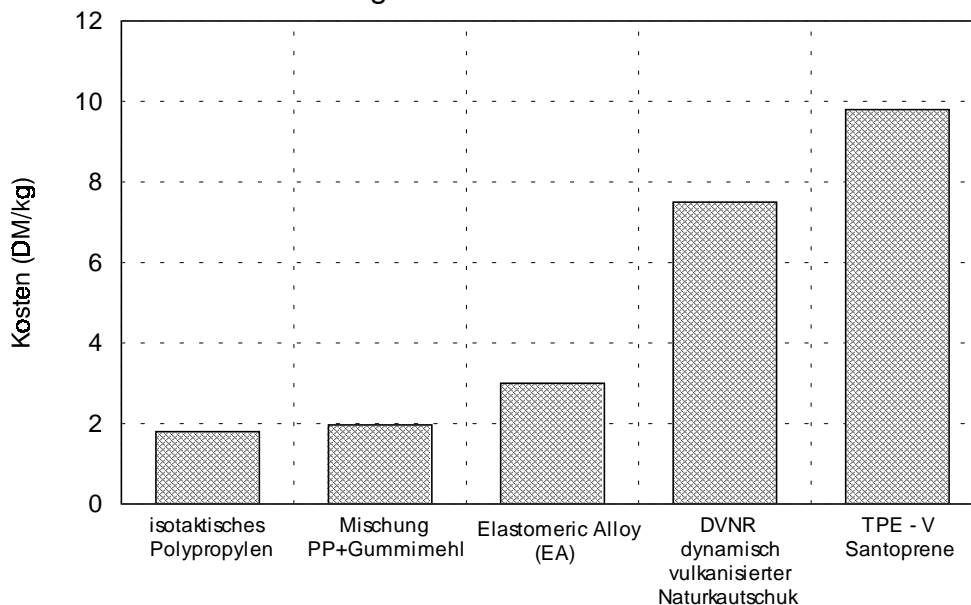


Bild 23: Preisvergleich Kunststoff - EA - TPE

Die neue Elastomerlegierung kann nicht nur auf dem TPE-Sektor substituierend wirken, sondern auch auf den Thermoplastsektor, z. B. für PVC-weich und im Elastomerbereich z. B. für SBR-Vulkanisate.

II.1.5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der F/E-Projektarbeiten wurden ein neues Verfahren und neue Rezepturen entwickelt, um aus Gummimehl, Kunststoffen und besonderen Zuschlagstoffen dynamisch stabilisierte Compounds herzustellen (sogenannte Elastomerlegierungen - Elastomeric Alloy - EAs). Diese neuartigen EAs vereinen die Vorzüge von Gummi und Kunststoff in sich.

Strukturelles Kennzeichen dieser EAs sind homogen verteilte Gummipartikel in einer Kunststoffmatrix. Diese beiden an sich thermodynamisch unverträglichen Phasen werden sowohl physikalisch als auch chemisch miteinander gekoppelt. Nur diese mechano-chemische Kopplung, praktiziert im Schmelzemischprozess mit dynamischer Stabilisation, sichert die gewünschten Eigenschaften der EAs, die damit zu hochwertigen Thermoplastischen Elastomeren (TPEs) werden. Als Phasenkoppler dient ein System aus Radikalbildnern und Radikalakzeptoren. Art und Menge dieser und weiterer Zuschlagsstoffe sowie die Mischbedingungen beeinflussen die Eigenschaften der EAs ganz gezielt. Mit Hilfe von Weichmachern oder Füllstoffen lässt sich die Rezeptur außerdem so verändern, dass hieraus hergestellte technische Formteile höchsten Beanspruchungen standhalten.

An spritzgegossenen Probekörpern konnten Reißdehnungen über 250 Prozent und Zugfestigkeiten über 20 Megapascal erreicht werden. Weil der Zugverformungsrest der EAs weniger als 50 Prozent beträgt, gehören diese Werkstoffe eindeutig zur Gruppe der TPEs. Die neuen Werkstoffe lassen sich in vielen technischen Bereichen einsetzen, so zum Beispiel als schlag- und stoßbeanspruchte Teile im Kraftfahrzeug- und Schienenfahrzeugbau. Diese Werkstoffe zeigen eine hohe Wärme- und Kälteschlagfestigkeit im Bereich von -40 bis +100 Grad Celsius. Außerdem lassen sich die EAs kostengünstig herstellen: Ihr Preis beträgt nur die Hälfte bis ein Drittel des Preises von auf dem Markt bereits eingeführten reinen TPEs mit vergleichbaren Eigenschaften.

Fernziel der weiteren Forschung ist es, als Mischpartner des Altgummis auch wieder aufbereitete Kunststoffe zu verwenden und vom Chargenmischprozess zur kontinuierlichen Herstellung überzugehen. In Zukunft sollen so Gummigranulat und -mehl in stärkerem Maße wieder verwertet werden, als es nach dem gegenwärtigen wissenschaftlichen-technischen Stand möglich ist. Die Firma FARU GmbH Dresden hat bereits eine Lizenz erworben und will im Jahr 2001 mit der großtechnischen Herstellung der EAs beginnen.

II. 2. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die F/E-Ergebnisverwertung erfolgt gemäß den Richtlinien des Fördermittelgebers und des Projektträgers nach einem Verwertungsplan - s. Anlage 3.

Dieser Verwertungsplan sichert entsprechend den gegebenen und noch zu schaffenden Voraussetzungen betreffs der Mitwirkung weiterer Partner aus Industrie und Forschung die rasche Nutzung und Überführung der wiss.-technischen Ergebnisse des Förderprojektes in die Praxis.

II. 3. Während der Projektlaufzeit bekannt gewordene Fortschritte auf dem Fachgebiet

Nach Wissen der Projektbearbeiter gab es und gibt es gegenwärtig keine F/E-Ergebnisse oder auch Werkstoffmuster, die darauf schließen lassen, dass das vorgeschlagene und auch schon praktizierte Verfahren der Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von Elastomerlegierungen aus Reifengummimehl und Kunststoffen (Polypropylen) an anderer Stelle mit gleichem Erfolg bzgl. erreichter Effektivität des Verfahrens und der TPE-typischen Werkstoffkennwerte existiert. Die eigenen Fortschritte und der erreichte wissenschaftlich-technische Erkenntnisstand sind in den beiden deutschen Patentanmeldungen

DE 196 07 281 A1 und

DE 199 23 758 1 sowie der internationalen Anmeldung PCT/DE00/1539 niedergelegt und damit geschützt.

II. 4. Veröffentlichungen

Während der Laufzeit des F/E-Projektes erfolgten eine Vielzahl von Veröffentlichungen. Eine Übersicht ist in Anlage 2 erhalten.

Anlagenverzeichnis

- | | |
|----------|--|
| Anlage 1 | Zusammenstellung von Fachliteratur zum Problem der werkstofflichen Verwertung von Alt- und Abfallgummi |
| Anlage 2 | Veröffentlichungen und Vorträge zum geförderten F/E-Projekt |
| Anlage 3 | Verwertungsplan |
| Anlage 4 | Datenblatt - Werkstoffkennwerte der Elastomerlegierungen |
| Anlage 5 | Empfehlungen zur Wahl der technologischen Parameter für das Spritzgießen von Elastomerlegierungen |
| Anlage 6 | Marktchancen der Elastomerlegierungen |

Zusammenstellung von Fachliteratur zum Problem der werkstofflichen Verwertung von Alt- und Abfallgummi

- [1] **H. Schnecko:**
„Rubber recycling“; Kautschuk und Gummi, Kunststoffe; 47 (1994); 12;
S. 885-890
- [2] **F. Sommer:**
„Ansatzpunkte für die umweltfreundliche Anwendung und Verwertung von
Gummi-Festigkeitsträger-Verbunden“; Kautschuk und Gummi, Kunststoffe; 46
(1993); 5; S. 395-402
- [3] **B. Löwenhaupt:**
„Recycling von Altreifen (4)“; Gummibereifung; (1994); 11; S. 88-92
- [4] **U. Schmidt, E. Kreipe:**
„Möglichkeiten zur thermischen Verwertung von Altgummi“; Kautschuk und
Gummi, Kunststoffe; 48 (1995); 4; S. 244-253
- [5] **U. Schmidt, D. Reinke:**
„Wiederverwertung von Altgummi - Status und Tendenzen in der
Gummiindustrie“; Kautschuk und Gummi, Kunststoffe; 45 (1992); 8; S. 661-
666
- [6] **A.Y. Coran, R.P. Patel:**
„Thermoplastic elastomers based on dynamically vulcanized elastomer-
thermoplastic blends“; Kapitel 7 aus „Thermoplastic elastomers. 2. edition“;
Editoren: **G. Holden u.a.**; Hanser Publishers; München, Wien New York
(1996); S. 153-190
- [7] **R.L. Markham:**
„Introduction to compatibilization of polymer blends“; Advances in Polymer
Technology; 10 (1990); 3; S. 231-236
- [8] **O. Olabisi, L.M. Robeson, M.T. Shaw (Editoren):**
„Polymer-polymer miscibility“; Academic Press Ltd.; New York (1979)
- [9] **J.J. Elmendorp, A.K. Van der Vegt:**
„Fundamentals of morphology formation in polymer blending“; Kapitel 6 aus
„Two Phase Polymer Blends“; Editor **L.A. Utracki**; Hanser Publishers;
München, Wien, New York, Barcelona (1990); S. 165-184

- [10] **T. Pham:**
„Reaktive Compoundierung von PP/EPDM Mischungen“; Dissertation;
MLU Halle-Wittenberg; 30.06. 1995
- [11] **D. Munteanu:**
„Polyolefin stabilization by grafting“ Kapitel 4 aus „Developments in Polymer
Stabilization – Volume 8“; Editor: **G. Scott**; Barking, Elsevier Applied Science
Publishers Ltd.; London (1987); S. 179-208
- [12] **J.-H. Wendorff:**
„Wechselwirkungen in Polymerblends“ aus „Aufbereiten von Polyolefinen“;
VDI Verlag GmbH; Düsseldorf (1989); S. 1-27
- [13] **S. Abdou-Sabet, R.C. Puydak, C.P. Rader:**
„Dynamically vulcanized thermoplastic elastomer“; Rubber Chemistry and
Technology - Rubber Reviews; 69 (1996); 3; S. 479-494
- [14] **M. Haug:**
„Thermoplastische Elastomere“; Vortrag zur DKG BK Ost; Merseburg; 7.-8.11.
1996
- [15] **T. Lüpke, H.-J. Radusch, M. Sandring:**
„Spannungs-Dehnungsverhalten dynamischer Vulkanisate“; Kautschuk und
Gummi, Kunststoffe; 45 (1992); 2; S. 91-94
- [16] **E. Osen:**
„Thermoplastische Elastomere im Überblick“; SKZ; Würzburg (1994);
Vortrag I
- [17] **T. Pham, D. Bittrich, H.-J. Radusch:**
„Modellierung der reaktiven Compoundierung von Polymerblends“; Plaste und
Kautschuk; 41 (1994); 2; S. 53-59
- [18] **A.H. Hogt, J. Meijer, J. Jelenic:**
„Modification of polypropylen by organic peroxides“ aus „Reactive modifiers for
polymers“; Editor **S. Al Malaika**; Chapman and Hall; (1997); S. 84-132
- [19] **A.Y. Coran, R.P. Patel, D. Williams-Headd:**
„Rubber - Thermoplastic - Compositions. V: selecting polymers for
thermoplastic vulcanizates“; Rubber Chemistry and Technology; 55 (1982);
S. 116-136
- [20] **S. Abdou-Sabet, R.P. Patel:**

- „Morphology of elastomeric alloys“; Rubber Chemistry and Technology; 64 (1991); S. 769-779
- [21] **M. Xanthos, S.S. Dagli:**
„Compatibilization of polymer blends by reactive processing“; Polymer Engineering and Science; 31 (1991); 13; S. 929-935
- [22] **R. Anderlick, H.-G. Fritz:**
„Thermoplastische Elastomere auf der Basis von Polypropylen und Ethylen - Propylen - Elastomeren. Einfluß der Polypropylenkomponente auf die technologischen Eigenschaften“; Plaste und Kautschuk; 40 (1993); 1; S. 1-8
- [23] **J. Jancar, M. Kucera:**
„Filled behavior of PP / CaCO₃ and PP / Mg(OH)₂ composites II: enhanced interfacial adhesion“; Polymer Engineering and Science; 30 (1990); 12; S.714-720
- [24] **S. Al-Malaika, E.J. Amir:**
„Thermoplastic elastomers. I. Effect of processing variables on tensile properties of natural rubber/polypropylene blends“; Journal of Natural Rubber Research; 1 (1986); 2; S. 104-121
- [25] **N.R. Choudhury, A.K. Bhowmick:**
„Influence of interaction promoter on the properties of thermoplastic elastomeric blends of natural rubber and polyethylene“; Journal of Materials Science; 23 (1988); S. 2187-2194
- [26] **A.J. Tinker:**
„Preparation of polypropylene / natural rubber blends having high impact strength at low temperatures“; Polymer Communications; 25 (1984); 11; S. 325-326
- [27] **H.-J. Radusch, S. Ilisch, T.Pham:**
„Morphologie und Eigenschaften Dynamischer Vulkanisate auf Basis Polypropylen - Kautschuk - Mischungen“; Kautschuk - Herbst - Kolloquium; DIK Hannover (22.-26.10.1996)
- [28] **S. George u.a.:**
„Dynamic mechanical properties of isotactic polypropylene/nitrile rubber blends: Effect of blend ratio, reactive compatibilization, and dynamic

- vulcanization“; Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics; 35 (1997); S. 2309-2327
- [29] **K. Oliphant, P. Rajalingam, W.E. Baker:**
„Ground rubber tire-polymer compositions“ aus „Recycling of plastic materials“; Editor **F.P. LaMantia**; Chem Tec Publishing; (1993); S. 153-170
- [30] **S. Ilisch, Sl. Marinow:**
„Modifizierung von Thermoplasten mittels disperser Gummizusätze“; Polymerwerkstoffe`98; Merseburg; 23.-25.09. 1998; S. 240-247
- [31] **S. Ilisch, P. Krajewsky, Sl. Marinow:**
„Modifizierte PP-Gummimehl-Mischungen“; Problemseminar Polymermischungen; Merseburg; 25.-26.03. 1997
- [32] **L. Slusarski, R. Sendlewski:**
„Der Einfluß des zerkleinerten Gummis auf Elastomereigenschaften“; Gummi, Fasern, Kunststoffe; 36 (1983); 10; S. 540-545
- [33] **P. Rajalingam, J. Sharpe, W.E. Baker:**
„Ground rubber tire/thermoplastic composites: Effect of different ground rubber tires“; Rubber Chemistry and Technology; 66 (1993); S. 664-677
- [34] **R.P. Burford, M. Pittolo:**
„Characterization and performance of powdered rubber“; Rubber Chemistry and Technology; 55 (1982); S. 1233-1249
- [35] **P.K. Pramanik, B. Dickson:**
„Recycled plastic compounds containing ground rubber tyres as filler“; SPE ANTEC`95; S. 3738-3742
- [36] **A.Y. Coran:**
„Elastoplastic compositions of cured diene rubber and polypropylene, and a process for their preparation“; EP 0025355 A1 (08.09.1980)
- [37] **N.R. Choudhury, S.N. Battacharya:**
„Effect of compatibilization on mechanical and rheological properties of ground rubber tire-polyethylene blends“; Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications; 25 (1996); 9; S. 448-457
- [38] **R. Stadler, L. Freitas:**

- „Thermoplastic elastomers by hydrogen bonding: 1. rheological properties of modified polybutadiene“; Colloid & Polymer Science; (1986); 264; S. 773-778
- [39] **A.A. Berlin u.a.:**
„Principles of polymer composites“; Polymer Properties and Applications 10; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Tokyo, New York (1986); S. 1-45 und 85-121
- [40] **A.Y. Coran:**
„TPV-vulcanizates“; Vortrag Nr.6 des Workshop des DIK „Thermoplastische Elastomere - Werkstoffe der Zukunft“; Hannover; 25.-26.06.
- [41] **M. Lazar, R. Rado, J. Rychly:**
„Crosslinking of polyolefins“; Advances in Polymer Science; 95 (1990); S. 149-179
- [42] **L.D. Loan:**
„Mechanism of peroxide vulcanization of elastomers“; Rubber Chemistry and Technology; 40 (1967); S. 149-176
- [43] **J. Noolandi:**
„Recent advances in the theory of polymeric alloys“; Polymer Engineering and Science; 24 (1984); 2; S. 70-78
- [44] **A. Ajji, L.A. Utracki:**
„Compatibilization of polymer blends“; Progress in Rubber and Plastics Technology; 13 (1997); 3; S. 153-188
- [45] **M. Lambla, M. Seadan:**
„Reactive blending of polymers by interfacial free radical grafting“; Makromolekulare Chemie, Macromolecular Symposia; 69 (1993); S. 99-123
- [46] **L.D. Johnson:**
„Thermoplastic compositions containing ground vulcanized rubber and polyolefin resin“; EP 0649871 A2 (26.04.1995)
- [47] **N.G. Gaylord:**
„Compatibilizing agents: Structure and function in polyblends“; Journal of Macromolecular Science - Chemistry; A 26; (1989); 8; S. 1211-1229
- [48] **D.J. Angier, E.M. Fettes:**
„Role of elastomers in impact - resistant polystyrene“; Rubber Chemistry and Technology - Rubber Reviews; 38 (1965); 5; S. 1164-1179

- [49] **A. Casale, R.S. Porter:**
„Mechanical synthesis of block and graft copolymers“; Advances in Polymer Science 17; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York (1975); S. 1-71
- [50] **W.K. Fisher:**
„Dynamically partially cured thermoplastic blend for monoolefin copolymer rubber and polyolefinic plastic“; US 3,806,558 (12.08.1971)
- [51] **M. Capala, E. Borsig, M. Lazar:**
„The influence of sulphur and its mixtures with polyfunctional monomers on the efficiency of crosslinking of polypropylene initiated by dicumyl peroxide“; Angewandte Makromolekulare Chemie; 133 (1985); S. 53-62
- [52] **J. Falbe, M. Regnitz (Editoren):**
„Römpf-Chemie-Lexikon“; Band 2 (Cm-G); Georg Thieme Verlag; Stuttgart, New York (1990); S. 1126-1127
- [53] **Y. Itoh u.a.:**
„Olefin thermoplastic elastomer and laminate thereof“; EP 0634453 A2 (18.01.1995)
- [54] **D. Tuchman, S.L. Rosen:**
„The mechanical properties of plastics containing cryogenically ground tire“; Journal of Elastomers and Plastics; 10 (1978); S. 115-128
- [55] **I. Chodak:**
„Properties of crosslinked polyolefin-based materials“; Progress in Polymer Science; 20 (1995); S. 1165-1199
- [56] **I. Chodak:**
„Crosslinked two – phase polymeric materials“; Polymerwerkstoffe '98; 23.-25.09.1998 in Merseburg; S. 425-434
- [57] **G. Kaiser, K. Hummel, W. Scheele:**
„Zur Kenntnis der Vulkanisation hochelastischer Vulkanisate“; Kautschuk und Gummi, Kunststoffe; 19 (1966); 6; S. 347-354
- [58] **K. Hummel:**
„Zur Kenntnis der Vulkanisation hochelastischer Vulkanisate - Die Vulkanisation von Naturkautschuk durch Dicumylperoxid in Anwesenheit von Zusatzstoffen“; Kautschuk und Gummi; 15 (1962); 1; S. WT1-WT6

- [59] **W.H. Brinkmann, L.W.J. Damen:**
„Die Peroxid-Vulkanisation von Kautschuken“; Kautschuk und Gummi, Kunststoffe; 19 (1966); 5; S. 267-271
- [60] **D. Simunkova, R. Rado, A. Saglia:**
„Einfluß der polyfunktionellen Monomere auf die Vernetzung des Polyethylens durch Peroxide“; Plaste und Kautschuk; 27 (1980); 5; S. 247-248
- [61] **W. Kleemann:**
„Mischungen für die Elastverarbeitung“; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig (1982)
- [62] **J. Jentsch, N. Quang, H. Michael:**
„Mischungen aus Polyethylen und Naturkautschuk I. Fließverhalten und Phasenstruktur“; Plaste und Kautschuk; 37 (1990); 5; S. 157-159
- [63] **F. Sommer:**
„Anwendungsbeispiele zeigen Wege und Grenzen“; Plastverarbeiter; 42 (1991); 1; S. 98-103
- [64] **H. Scholz, H. Michael, G. Mennig:**
„Wirkung verschiedener Stabilisierungssysteme auf das Eigenschaftsbild von Compounds aus Gummimehl und Thermoplasten“; TECHNOMER`97; Chemnitz; 11. 1997; Vortrag B21
- [65] **L.O. Amberg, A.E. Robinson:**
„Ethylene-propylene rubber“; Rubber and Plastics Age; 7 (1961); S. 875-879
- [66] **H. Michael, H. Scholz, G. Mennig:**
Blends from recycled rubber and thermoplastics“; National Seminar on Recycling and Plastic Waste Management; Madras (Indien); 09. 1997; S. 237-249
- [67] **G. Streit, S. Reggentin:**
„Zur Kinetik der Peroxidvulkanisation“; Gummi, Fasern, Kunststoffe; 49 (1996); 2; S. 134-145
- [68] **Anonym:**
„Gummimahlgut - modifizierte Thermoplaste“; Gebrauchsmusterschutz DE 29515721 U1 (04.01.1996)
- [69] **Z.S. Petrovic u.a.:**

„Polypropylene - carbon black interaction in conductive composites“; Journal of Applied Polymer Science; 49 (1993); S. 1659-1669

[70] **J. Pospisil:**

„Functionalized oligomers and polymers as stabilizers for conventional polymers“ aus „Polymer compositions: stabilizers / - curing“; Editor **N.S. Enikolopian**; Advances in Polymer Science 101; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Tokyo, New York (1990); S. 66-165

[71] **B.K. Kim, K.J. Kim:**

„Crosslinking of polypropylene by peroxide and multifunctional monomer during reactive extrusion“; Advances in Polymer Technology; 12 (1993); 3; S. 263-269

[72] **B. Löwenhaupt:**

„Recycling von Altreifen (3)“; Gummibereifung; (1994); 10; S. 94-97

[73] **S. Wu:**

„Polymer interface and adhesion“; Marcel Dekker Inc.; New York, Basel (1982); Kapitel 11; S. 359-448

[74] **J. Jancar, M. Kucera:**

„Yield behavior of polypropylene filled with CaCO_3 and $\text{Mg}(\text{OH})_2$ I: „zero“ interfacial thickness“; Polymer Engineering and Science; 30 (1990); 12; S. 707-713

[75] **L. Slusarski, M. Zaborski, J. Kuczynski:**

„Structure and properties of unconventional polymer networks“ aus „Advances in polymer blends and alloys technology“; Volume 4; Editor: **K. Finlayson**; Technomic Publishing Co. Inc.; Lancaster, Basel (1992/93); S. 62-78

[76] **R.J. Ceresa:**

„Blends of Polymers. Block and graft copolymers“; Encyclopedia of Polymer Science and Technology; 2 (1965); S. 485-528

[77] **G.L. Slonimskii, E.V. Reztsova:**

„The mutual solubility of polymers. V. Mechanochemical blending“; Rubber Chemistry and Technology; 32 (1959); S. 457-461

- [78] **D.J. Burlett, J.Th. Lindt:**
„Reactive processing of rubbers“; Rubber Chemistry and Technology;
66 (1993); S. 411-434
- [79] **Radusch, H.-J.:**
„Thermoplastische Elastomere durch dynamische Vulkanisation von
Thermoplast-Kautschuk-Mischungen“; Polymerwerkstoffe`98; Merseburg; 23.-
25.09. 1998; S. 193-200
- [80] **P. Rajalingam, W.E. Baker:**
„The role of functional polymers in ground rubber tire-polyethylene composite“;
Rubber Chemistry and Technology; 65 (1992); S. 908-916
- [81] **A.A. Phadke, S.K.De:**
„Effect of cryo-ground rubber on melt flow and mechanical properties of
polypropylene“; Polymer Engineering and Science; 26 (1986); 15; S. 1079-
1087
- [82] **E.N. Kresge:**
„Polyolefin-based thermoplastic elastomers“; Kapitel 5 aus „Thermoplastic
elastomers. 2. edition“; Editoren: **G. Holden u.a.**; Hanser Publishers;
München, Wien New York (1996); S. 101-127
- [83] **Anonym:**
„Organische Peroxide für die Vernetzung von Polymeren“; Firmenschrift;
Laporte Peroxid- Chemie GmbH; Pullach; (1994)
- [84] **H.-G- Fritz, S. Ultsch:**
„Pfpfropfpolymerisation von PE-LLD und PE-VLD mit Organosilanverbindungen“
aus „Polymerreaktionen und reaktives Aufbereiten in kontinuierlichen
Maschinen“; VDI-Verlag; Düsseldorf (1988); S. 243-295
- [85] **G. Scott:**
„Degradation and stabilization of polymers“; European Polymer Journal;
Supplement 1969; S. 189-213
- [86] **G. Scott, P.A. Shearn:**
„Mechanisms of antioxidant action: Effects of sulfur compounds on the melt
stability of polypropylene“; Journal of Applied Polymer Science; 13 (1969);
S. 1329-1335

- [87] **S.N. Charkravarty, R.R. Pandit:**
„Effect of rubber compounding ingredients on the peptisation efficiency of activated pentachlorothiophenol“; Kautschuk und Gummi, Kunststoffe; 29 (1976); 11; S. 676-680
- [88] **K. Meißner, E.-O. Reher:**
„Zur Modellierung des Mischprozesses hochviskoser Medien im Innenmischer“; Plaste und Kautschuk; 26 (1979); 5; S. 272
- [89] **H.M. Laun, H. Schuch:**
„Rheologische Aspekte der Blendaufbereitung“ aus „Aufbereiten von Polymerblends“; VDI-Verlag; Düsseldorf (1989); S. 105-128
- [90] **M. Pahl, W. Gleißle, H.M. Laun:**
„Praktische Rheologie der Kunststoffe und Elastomere“; VDI-Verlag; Düsseldorf (1991)
- [91] **J.A. Hudson:**
„Injection molding thermoplastic elastomers“; Rubber World; (1989); 7; S. 14-17
- [92] **J. Razenberg, E. Jeitler:**
„Schlagzähmodifikation von und mit Elastomeren“; Plastverarbeiter; 43 (1992); 4; S. 39-43
- [93] **G. W. Ehrenstein, G. Riedel, P. Trawiel:**
„Dynamische Differenzkalorimetrie - DDK, DSC“; Kapitel 1 aus „Praxis der thermischen Analyse von Kunststoffen“; **G. W. Ehrenstein, G. Riedel, P. Trawiel** Editoren; Carl Hanser Verlag; München, Wien (1998); S. 1-85
- [94] **H.A. Schneider u.a.:**
„Interacting polymer blends-synthesis and mechanical properties“; Die Makromolekulare Chemie-Supplement; 8 (1984); S. 89-100
- [95] **D.R. Paul:**
„Interfacial agents („Compatibilizers“) for polymer blends“; Kapitel 12 aus „Polymer Blends, Vol.2“; Editoren **D.R. Paul, S. Newman**; Academic Press; New York (1978); S. 35-62
- [96] **H. Willersinn:**
„Schlagzähe Styrolpolymerisate“; Die Makromolekulare Chemie, 101 (1967); S. 296-319
- [97] **C. Tzoganakis u.a.:**

- „Modelling of the peroxide degradation of polypropylene“; International Polymer Processing; III (1988); 3; S. 141-150
- [98] **Th. Kempermann:**
„Mechanischer und thermischer Abbau von Kautschuken“; Gummi, Fasern, Kunststoffe; 27 (1974); 8; S. 566-570
- [99] **P. Schneider:**
„Mastizieren und Regenerieren mit chemischen Hilfsmitteln“; Kautschuk und Gummi; 6 (1953); S. WT 21- WT 26
- [100] **A. Ravve:**
„Principles of polymer chemistry“; Plenum Press; New York and London; (1995)
- [101] **L.-F. Chen, B. Wong, W.E. Baker:**
„Melt grafting of glycidyl methacrylate onto polypropylene and reactive compatibilization of rubber toughened polypropylene“; Polymer Engineering and Science; 36 (1996); 12; S. 1594-1607
- [102] **J. Glöckler:**
„Überblick über die Werkstoffgruppe TE.V / TE.O, Schwerpunkt Recycling“; Werkinformation AES; Brüssel (1992)
- [103] **Th. Zysk, G.W. Ehrenstein:**
„Thermoplastische Elastomere unter dynamischer Beanspruchung“; Kunststoffe; 84 (1994); 2; S. 165-169
- [104] **E. Gorski:**
„Nomenklatur und Prüfverfahren“ aus „Thermoplastische Elastomere weiter im Aufwärtstrend“; Gummi, Fasern, Kunststoffe; 46 (1993); 4; S.177-178
- [105] **G. W. Ehrenstein, G. Riedel, P. Trawiel:**
„Dynamisch-mechanische Analyse – DMA“; Kapitel 5 aus „Praxis der thermischen Analyse von Kunststoffen“; **G. W. Ehrenstein, G. Riedel, P. Trawiel** Editoren; Carl Hanser Verlag; München, Wien (1998); S. 163-220
- [106] **F.C. Stehling, T. Huff, C.S. Speed:**
„Structure and properties of rubber-modified polypropylene impact blends“; Journal of Applied Polymer Science; 26 (1981); S. 2693-2711

- [107] **H.-J. Kestenbach, J. Loos, J. Petermann:**
„Effect of epitaxial crystallization on adhesive strength in impact-toughened isotactic polypropylene“; Polymer Engineering and Science; 38 (1998); S. 478-484
- [108] **S. Al-Malaika, E.J. Amir:**
„Thermoplastic elastomers: Part III – Ageing and mechanical properties of natural rubber – reclaimed rubber/polypropylene systems and their role as solid phase dispersants in polypropylene/polyethylene blends“; Polymer Degradation and Stability; 26 (1989); S. 31-41
- [109] **L. Setiawan, F. Buschhaus, B. Roß:**
„Thermoplastische Elastomere weiterhin im Aufschwung“; Gummi, Fasern, Kunststoffe; 50 (1997); 12; S. 974-977
- [110] **P. Hold:**
„Theory and practice of polymer mixing“; Kapitel 2 aus „Two Phase Polymer Blends“; Editor **L.A. Utracki**; Hanser Publishers; München, Wien New York, Barcelona (1990); S. 43-67
- [111] **H. Michael, H. Scholz, G. Mennig:**
„Blends from recycled rubber and thermoplastics“; Kautschuk und Gummi, Kunststoffe; 52 (1999); 7; im Druck
- [112] **W.P. Lauhus, E. Haberstroh, F. Ehrig:**
„Technische Elastomere“; Kunststoffe; 87 (1997); 6; S. 706-716

Anlage 2

Veröffentlichungen und Vorträge zum geförderten F/E-Projekt**Zeitraum 1997 bis 2000****1997****Veröffentlichungen**

G. Mennig, H. Michael, H. Scholz, W. Rzymiski:
"Neue TPE-Werkstoffe aus Gummimehl-Kunststoff-Verschnitten";
VII-International Conference on Machinery Recycling; Bydgoszcz,
Polen (6/1997); S. 203-211

G. Mennig, H. Michael, W. Rzymiski, H. Scholz:
"Thermoplastische Elastomere aus Polypropylen-Abfallgummi-Blends"
(Polnisch);
Polimery; Jg. 42; Nr. 7/8 (1997); S. 491-494

H. Michael, H. Scholz, G. Mennig:
"Blends from recycled rubber and thermoplastics" (Englisch);
National Seminar on Recycling and Plastics Waste Management; Madras, Indien
(9/1997); S. 237-249

H. Scholz, H. Michael, G. Mennig:
"Wirkung verschiedener Stabilisierungssysteme auf das Eigenschaftsbild von
Compounds aus Gummimehl und Thermoplasten";
TECHNOMER '97; Chemnitz (1/1997); B 21

H. Scholz, H. Michael:
"Beitrag zur stofflichen Verwertung von Alt- und Abfallgummi; Dynamisch stabilisierte
Gummimehl-Thermoplast-Compounds",
Forschungsforum '97: Leipzig; 17.09.1997 (im Druck)

Vorträge

H. Michael, H. Scholz, G. Mennig:
"Blends from recycled rubber and thermoplastics"; (Englisch);
National Seminar on Recycling and Plastics Waste Management; Madras, India
(9/1997);

H. Scholz, H. Michael:
"Beitrag zur stofflichen Verwertung von Alt- und Abfallgummi; Dynamisch stabilisierte
Gummimehl-Thermoplast-Compounds";
Forschungsforum '97: Leipzig; 17.09.1997

H. Scholz, H. Michael, G. Mennig:
 "Wirkung verschiedener Stabilisierungssysteme auf das Eigenschaftsbild von
 Compounds aus Gummimehl und Thermoplasten";
 TECHNOMER '97, Chemnitz (15.11.1997)

H. Michael, H. Scholz, G. Mennig:
 "Struktur- und Eigenschaftsbildung von Elastomeric Alloys aus Gummimehl und
 Polypropylen"
 13th Scientific Conference "Modification of Polymers", Kudowa-Zdroj;
 11.-14. September 1997

Poster

V. I. Ovcarov, H. Michael, A. W. Fomina:
 "Einfluss kleiner Zusätze von Ditiophosphaten auf die Eigenschaften von
 Polymermischungen"
 TECHNOMER '97

H. Michael, H. Scholz:
 "Dynamisch stabilisierte Compounds aus Gummimehl und Kunststoffen"

- Forschungsforum '97 - September, Leipzig und
- Innovationsmesse, Landkreis Chemnitz, Oelsnitz/Erzgeb.; 10.10.97

1998

Veröffentlichungen

G. Mennig, H. Michael, H. Scholz, N. Quang, V. V. Binh, N. T. Thai

NGHIEN CÚU TÍNH CHẤT VÀ CAU TRÚC CỦA VẬT LIỆU TỐ HOP TREN CƠ SỞ
 POLYPROPYLEN VÀ BỐT CAO SU PHE LIỆU

Vietnamesische Fachzeitschrift für Kunststoff und Gummi, Hanoi, Juni 1998

Vorträge

H. Scholz, H. Michael
 Charakterisierung des physikalisch-mechanischen Eigenschaftsbildes von
 Elastomerlegierungen aus Gummimehl und Polypropylen
 Deutsche Kautschuk-Gesellschaft-Bezirksgruppe Ost - Fachtagung am 05. und
 06.10.98 in Chemnitz

H. Michael, H. Scholz
 Verwertungs -und Entsorgungsmöglichkeiten von Alt- und Abfallgummi in Europa
 (Arbeiten im TAMRREC-EUREKA-Projekt-1080)
 Meeting des RITTS-Projektes

(Rotterdam Innovation and Technology Transfer System) am 19. und 20.08.1998 in Rotterdam

V. J. Ovtscharov, A. V. Fomina, H. Michael
Formation of semiinfluence nets from elastomers and Polypropylene

J. N. Waschenko, V. I. Ovtscharow, H. Michael,
Bestimmung der Qualität von Kautschukmischungen die durch Gummimehlzugabe modifiziert wurden (in russ.)
Russische Konferenz "Raw materials from Rubber industry present and future, Moskau 11.05. bis 15.05.98.

Poster

G. Mennig, H. Michael, H. Scholz, W. Rzymiski
Influence of Concentration of Stabilizing Agents in View of Physikal - Mechanical Properties of Elastomeric Alloys
International Conference „Elastomers '98“ 13.10.-15.10.98 Warschau

G. Mennig, B.T Anh, N. Quang, H. Michael, H. Scholz
„Elastomeric Alloys under tropical conditions“
The fifth asean science and technology week vom 12.10. bis 15.10.98 in Hanoi

Compounds made from rubber and plastics
Internationale ENVITEC-Messe in Düsseldorf vom 02.03. bis 06.03.98

1999

Veröffentlichungen

H. Michael, H. Scholz, G. Mennig,
Blends from Recycled Rubber and Thermoplastics;
Kautschuk, Gummi, Kunststoffe 52. Jahrgang, Nr. 7-8/99, S. 510-

H. Scholz, H. Michael, P. Pötschke
Charakterisierung der Phasenstruktur in dynamisch stabilisierten Compounds aus Altreifen und Kunststoffen; TECHNOMER '99

Vorträge

H. Michael
TPE-ähnliche Elastomerlegierungen auf Basis dynamisch stabilisierter Gummimehl-Kunststoff-Compounds
Fachtagung am 05. und 06. Mai 99 in Würzburg am SKZ

H. Michael
Verwertungsmöglichkeiten von Elastomerlegierung bei der Rekonstruktion von Hafenanlagen
(Arbeiten im TAMRREC-EUREKA-Projekt-1080)

Meeting des RITTS-Projektes
(Rotterdam Innovation and Technology Transfer System) am 21. und 22.10.1999 in
Rotterdam

J. N. Waschenko, I. A. Sirtschenko, A. G. Aleksandrow, V. I. Ovtsharov, H. Michael,
G. Mennig
Bestimmung der Eigenschaften von Gummi, die durch Gummimehlzugabe modifiziert
wurden (in russ.)
Russische Konferenz "Raw materials for Rubber industry. From materials to
products", Moskau 21.05. bis 22.05.99.

H. Michael
Beitrag zur hochqualitativen stofflichen Verwertung von Gummimehl aus Altreifen,
Internationale Fachtagung der ETRA am 19. und 20. Oktober in Schwerin

H. Michael
Modifizierung von Kautschukmischungen durch Gummimehl, Tagung im Rahmen
des Projektes "Sachsenübergreifendes Netzwerk beim Gummirecycling" Heidenau
am 02.12.1999

H. Michael, H. Scholz, G. Mennig
Structure and properties of compounds similar to TPE's with crosslinked disperse
elastomeric phase (Elastomeric Alloys), ITT Hanoi, September 1999

G. Mennig, H. Michael, N. D. Cuong, N. Quang, T. T. T. Van, V. V. Binh,
Study of Morphology of Elastomeric Alloys by Scanning Electron Microscopy
Proceeding of the 3rd International Workshop on Material Science (IWOMS' 99),
Hanoi, November 2.-4. 1999

G. Mennig, H. Michael, W. Rzymiski, H. Scholz
Herstellung und mech.-physikalische Eigenschaften von Elastomerlegierungen aus
Gummimehl und Polypropylen,
IX. International Conference on Machinery Recycling, Bydgoszcz, Polen, 1999

J. Zimniak, R. Konieczka, H. Michael
Analyse von Prozessen der Aufbereitung von Kompositwerkstoffen aus Kunststoffen
und Gummiabfällen
IX. International Conference on Machinery Recycling, Bydgoszcz, Polen, 1999

Poster

Elastomeric alloy made from rubber powder and thermoplastics
German Technology Exhibition and Symposium, Bangkok, Thailand November '99

2000**Veröffentlichungen**

G. Mennig, H. Michael
SAXONMAIL, EA's from old tyres, Juni 2000

H. Michael, G. Mennig
Projekt zur Alt- und Abfallgummiverwertung an der TU Chemnitz - Herstellung von Elastomerlegierungen, ENTSORGA Nr. , 2000, S.

W. M. Burmester, J. W. Suchoi, G. Mennig, H. Michael
Polyetramoniumsalze als Modifikatoren von anorganischen Füllstoffen der Elastermischungen, Chemische Industrie der Ukraine Nr. 3 (33) 2000 S. 27-32

G. Mennig, H. Michael, N. Quang u. a.
"The determination of properties modell of elastomeric alloys based on PP and WRP and characterisation on influence of tropical weather".
Journal Science & Technology of Vietnam Nr. 3B (6.2000), Seite 63-69

Vorträge

H. Michael, G. Mennig
"Beitrag zur werkstofflichen Verwertung von Alt- und Abfallgummi - Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von Elastomerlegierungen", Eröffnung des Kompetenzzentrums Kunststoffe, 5. Oktober 2000, Schwarzheide

N. Quang, H. Michael
Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von Elastomerlegierungen
ALVIDE-Konferenz "Schutz und optimierte Nutzung von natürlichen Ressourcen", Hanoi-Vietnam, März 2000

H. Michael, G. Mennig
Neues Recyclingverfahren für Gummi - Herstellung von Elastomerlegierungen, Internationales Symposium „Strategien für die Wertstoffwirtschaft“, 8.12.2000, Lauta

Poster

H. Michael, G. Mennig
"Elastomerlegierungen aus Gummimehl und Kunststoffen"
ENTSORGA 2000 - Juni 2000, Köln

W. Rzymiski, G. Bielinski, H. Michael, G. Mennig
Tribologische Eigenschaften der TPE-Werkstoffe aus Altgummimehl-Polypropylen-Verschnitten.
Tagung "Polymerwerkstoffe 2000" - September 2000, Halle

Anlage 3

**Vorhaben: Stoffrückgewinnung von Altgummi; Teilvorhaben 3:
Entwicklung von dynamisch stabilisierten, den Thermoplastischen
Elastomeren ähnlichen Compounds aus Gummimehl und
Kunststoffen
Förderkennzeichen: 1491066**

2. Verwertungsplan (BNBest-BMBF 98)

Präambel

Dieser aktuelle 2. Verwertungsplan berücksichtigt die seit Abschluss des 1. Verwertungsplanes im Oktober 1999 eingetretenen Veränderungen bezüglich der (ursprünglich) für die Verwertung der F/E-Ergebnisse ausgewählten Firmengruppe Karteusch und Westendorf. (K. u. W.)

Der mit der Firmengruppe Karteusch und Westendorf abgeschlossene ausschließliche Lizenzvertrag wurde mit Wirkung vom 19. Mai 2000 rechtskräftig gekündigt.

Gründe: Trotz mehrfacher Mahnungen erfüllte die Firmengruppe K. und W. ihre im Lizenzvertrag festgelegten Verpflichtungen nicht.

Innerhalb des Forschungsprojektes (Projektträger Umweltbundesamt Berlin, Förderkennzeichen 1491066) konnten zwei Patentanmeldungen (Nr. DE 19607281 A1; "Verfahren zum werkstofflichen Recycling von Alt- und Abfallgummi durch die dynamische Stabilisierung von Gummimehl, Thermoplast und Vernetzungsmitteln zur Herstellung von TPE-ähnlichen Compounds" und Nr. DE 19923758 1 "Verfahren zur Herstellung einer den Thermoplastischen Elastomeren ähnlichen Elastomerlegierung unter Verwendung von Alt- und Abfallgummi") beim Deutschen Patent- und Markenamt hinterlegt werden. Deren Anmelder und Inhaber sind die Erfinder Dr.-Ing. H. Michael und Dr. H. Scholz. Beide Patentanmeldungen befinden sich derzeit im patentamtlichen Prüfungsverfahren. Zu den Erfolgsaussichten bezüglich der Eintragungsfähigkeit der Schutzrechte kann bezüglich der 2. Patentanmeldung die Aussage getroffen werden, dass die Patenterteilung unmittelbar bevorsteht (Mitteilung des Patent- und Markenamtes München vom 10. März 2000).

Die Anmelder haben im Rahmen weiterer Forschungen dem Zuwendungsempfänger, der TU Chemnitz, ein gegenüber Dritten geltendes, kostenloses, nichtkommerzielles Mitbenutzungsrecht an den Erfindungen zugesichert. Außerdem erklären die Patentanmelder, da eine Übertragung der Rechte an den Schutzrechten auf den Zuwendungsempfänger nicht vorgesehen ist, dass sie gemäß Punkt 5.2 der BNBest-BMBF 98 für sich und ihre Rechtsnachfolger alle auf das Ergebnis bezogene Verpflichtungen - insbesondere die Ausübungs- und Verwertungspflicht - des Zuwendungsempfängers übernehmen.

Während Herr Dr. Michael seit dem 01.03.2000 wieder als Dittmittelbeschäftigter an der TUC arbeitet, ist Herr Dr. Scholz ab 01.09.1999 nicht mehr an der TUC beschäftigt. Herr Dr. Scholz erklärt aber seine uneingeschränkte Bereitschaft zur

Übernahme aller im Zusammenhang mit den Pflichten und Rechten resultierenden Auflagen dieses Verwertungsplanes.

Die Patentanmelder kommen ihrer Verwertungspflicht derzeit bereits erneut nach.

Mit der Firma FARU GmbH Dresden hat am 29.10.2000 der Abschluss eines ausschließlichen Lizenzvertrages zur Nutzung der Patente und des geheimen Know-how stattgefunden. Dieser Lizenzvertrag enthält die Aufforderung zur Vergabe von Unterlizenzen. Ebenso sind Regelungen enthalten, die den Lizenznehmer an die Ausübung der Lizenz bindet.

Zur weiteren schutzrechtlichen Sicherung der Forschungsergebnisse wurde veranlasst, rechtzeitig vor Ablauf der Prioritätsfrist der zweiten Patentanmeldung diese Erfindung umfassend im Ausland zu schützen. Die PCT-Anmeldung Nr. DE 00/01539 erfolgte am 17.05.2000. Die Vergabe von Schutzrechten wird im gesamten europäischen Wirtschaftsraum, in den USA, Kanada und Australien angestrebt.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

An der TU Chemnitz wurde ein Verfahren entwickelt, nach welchem nach speziellen Rezepturen aus Gummimehl, Kunststoffen und speziellen Additiven dynamisch stabilisierte Compounds (Elastomerlegierungen - Elastomeric Alloys - EAs) hergestellt werden können. Diese neuartigen EAs vereinen die Vorzüge des Gummis und des Kunststoffs in sich. Das Verfahren zur Herstellung dieser EAs und deren Verarbeitung kann sowohl im Labor - als auch im großtechnischen Maßstab auf für die Gummi- und Kunststoffindustrie typischen Standardmaschinen durchgeführt werden.

Dieser Fakt und die preiswerten Hauptrezepturbestandteile der EAs, wie Gummimehl und der Massenkunststoff Polypropylen sowie die nur geringen notwendigen Mengen der preisintensiven Additive ergeben einen für potentielle Anwender der EAs äußerst attraktiven Preis, der nur der Hälfte bis zu einem Drittel des Einkaufspreises von markteingeführten TPEs mit vernetzter disperser elastomerer Phase bei gleicher Härteklasse entspricht. Die neue Elastomerlegierung kann außerdem nicht nur auf dem TPE-Sektor, sondern auch im Thermoplast-Anwendungsgebiet, z. B. für PVC-weich und im Gummibereich, z. B. für SBR-Vulkanisate substituierend wirken oder sich vollkommen neue Einsatzgebiete erschließen.

Außer den zweifelsfrei wichtigen ökonomischen Gesichtspunkten müssen bei einer Beurteilung des Verfahrens aber auch ökologisch relevante Gesichtspunkte betrachtet werden. Mit der Erzeugung und technischen Nutzung der mehrfach wieder recycelbaren EAs sind im europäischen Maßstab bisher beispiellose Ansätze der Abfallverringerung betreffs Alt- und Abfallgummi bzw. auch zukünftig Thermoplast in größtem Umfang gegeben. Mit den Projektarbeiten wird ein konkretes Beispiel für die konsequente Umsetzung von Ideen und Forderungen betreffs Realisierung und lückenloser Schließung von Stoffkreisläufen geschaffen. Die Verwertung des wertvollen Werkstoffs Gummi ist damit kein Downcycling und trägt mit ihrer neuen Idee zum in der Gesellschaft begonnenen Umdenkungsprozess bei der sinnvollen Nutzung und Schonung von natürlichen Ressourcen bei. In den Projektarbeiten

gewonnene Erkenntnisse und Erfahrungen können beispielhaft auf anderen Forschungsprojekte übertragen werden.

Die ausschließliche Lizenz und das Know-how nehmende Firma FARU GmbH Dresden ist Mitglied der sich zum Zweck der Markteinführung der neuen Gummimehl-Kunststoff-Compounds gebildeten Arbeitsgemeinschaft. Dieser Arbeitsgemeinschaft (AG) gehören folgende Firmen an:

ERMAFA Kunststofftechnik Chemnitz GmbH u. Co. KG, FARU GmbH Dresden und Riesselmann Kunststofftechnik GmbH Ottendorf-Okrilla.

Die AG hat sich zum Ziel gestellt, die Herstellung der Compounds aus Gummimehl und Kunststoff nach dem im F/E-Projekt vorgestellten Prinzipien zu gewährleisten und zur Anwendung für Teile, vornehmlich im Fahrzeug-Bau, vorzubereiten.

Die für die Entwicklungsarbeiten notwendigen finanziellen Mittel sollen im Rahmen eines Förderprojektes der Automobil-Zulieferer-Initiative von der Sächsischen Aufbaubank beschafft werden. Die TUC, namentlich die Arbeitsgruppe Kautschuktechnik der Professur Kunststoffverarbeitungstechnik, reicht dazu gemeinsam mit der ERMAFA Kunststofftechnik Chemnitz GmbH und der Firma FARU GmbH Dresden einen F/E-Vertrag bei der SAB ein. Die für das F/E-Projekt der TU beantragte Fördermittelsumme beträgt ca. 605 TDM. Hauptaufgaben dieses F/E-Vorhabens sind dabei die in diesem Verwertungsplan genannten Schwerpunkte des Abschnittes Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.

Die Weitergabe (der Verkauf) der im Rahmen der AG industriell hergestellten EAs soll zu einem Preis pro Kilogramm unterhalb markteingeführter TPEs erfolgen, so dass das Konzept der kurzfristigen und erfolgreichen Markteinführung der EAs über Qualität und Preisvorteil aufgehen kann.

Auf den Grundlagen bisher im Projekt erzielter Forschungsergebnisse und der sich auch bei der Produktionseinführung ergebenden neuen Erkenntnisse wird die Weiterführung der Forschungsarbeiten, nunmehr in enger Kooperation zwischen der TU Chemnitz und den industriellen Nutzern, angestrebt. Ein zukünftiger Firmenverbund aus Gummimehlhersteller, z. B. Mülsener Recyclings- und Handelsgesellschaft mbH, EA-Hersteller, z. B. FARU GmbH Dresden und EA-Verarbeiter, z. B. Firma Riesselmann Ottendorf sowie Maschinenlieferant ERMAFA Kunststofftechnik GmbH u. Co Chemnitz sollte sich an den Folgeprojektkosten beteiligen.

Als weiterer Nutzer des neuen Werkstoffs können z. B. durch Unterlizenzvergabe sowohl andere Gummimehlproduzenten als auch die klein- und mittelständische kautschuk- und kunststoffverarbeitende Industrie als Hersteller von technischen Formteilen mit speziellen TPE-ähnlichen Eigenschaften in die Lage versetzt werden, in Verwirklichung der Prioritätenliste des Recyclinggedankens Abfallvermeidung vor -verminderung und -verwertung den neuen kostengünstigen Werkstoff-EA zu verwenden, ohne dafür oft auch nicht realisierbare teure eigene Werkstoffentwicklung und -testungen finanzieren zu müssen.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Mit dem an der TU Chemnitz entwickelten Verfahren zur Herstellung und Verarbeitung von EAs aus Gummimehl und Kunststoffen ist es gelungen, die werkstoffliche Verwertung von Gummimehl aus vornehmlich Altreifen weit über das durch den gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Erkenntnisstand gesetzte Maß hinaus zu erweitern.

Der mit der Firma FARU GmbH Dresden abgeschlossene ausschließliche Lizenzvertrag sichert und regelt die rasche Übernahme der Forschungsergebnisse. Es ist vorgesehen, diesen 2. Verwertungsplan dem Lizenzvertrag nachträglich beizufügen und zum Bestandteil des Vertrages zu erklären.

Damit werden die aus Pkt. 10 der BNBEST-BMBF 98 resultierenden Verpflichtungen eingehalten, was wiederum eine Maßnahme zur Sicherung der Verwertung darstellt.

Die zukünftigen Nutzer der F/E-Ergebnisse haben erklärt, dass sie sich an den Kosten der fortzuführenden Forschungsleistungen beteiligen wollen. Es ist vorgesehen, hierzu Forschungs- und Entwicklungsverträge mit der TU Chemnitz zu unterzeichnen.

Die geplanten Forschungsarbeiten sollen wiederum an der Professur Kunststoffverarbeitungstechnik der TU Chemnitz durchgeführt werden.

Es ist beabsichtigt, dass bewährte Wissens- und Erfahrungsträger im Rahmen der vorhandenen Ausstattung auch weiterhin sowohl für die Verwertung der Forschungsergebnisse als auch im Nachfolgeprojekt für diesbezügliche Arbeiten zur Verfügung stehen.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die wissenschaftlichen Zielstellungen des Nachfolgeprojektes lassen sich wie folgt in Kurzform aufzeigen:

Applikation der Forschungsergebnisse

1. Erarbeitung allgemeingültiger Richtlinien, um die im Labor gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse auf maschinentechnisch spezifische Praxisverhältnisse zu übertragen
2. Nutzung anderer Mischtechnologien
 - . diskontinuierlich, z. B. Intermix -Innenmischer, Pressmischer
 - . kontinuierlich, z. B. reaktiver Extruder
3. Rezepturoptimierung unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Kunststoffrecyclaten und der Anpassung an Forderungen, wie sie von technischen Formteilen gestellt werden, die speziell im Automobilbau eingesetzt sind.

Grundlagenforschung

Die unter diesem Schwerpunkt aufgelisteten beiden Forschungsaufgaben repräsentieren hohe wissenschaftliche Ansprüche. Die dienen als Grundlage für die im gegenwärtig gerade abzuschließenden Forschungsprojekt gewonnenen funktionellen Zusammenhänge zwischen strukturellen und technologischen Besonderheiten der Elastomerlegierungen.

1. Gummimehlcharakterisierung
2. Charakterisierung des funktionellen Zusammenhangs zwischen Struktur (Phasenkopplung) und Eigenschaften

Mit der Übernahme des Know-hows durch die FARU GmbH - die über eigene qualifizierte Polymerchemiker und in ihrem akkreditierten analytischen Labor über entsprechende Voraussetzungen verfügt - werden in enger Kooperation mit der TU Chemnitz die Ergebnisse im o.g. F/E-Projekt alle Voraussetzungen zur erfolgreichen Nutzung der innovativen Vorhabensergebnisse geschaffen.

Durch aktive Öffentlichkeitsarbeit bei der Verwertung der Ergebnisse der Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft wird die branchenübergreifende Nutzung der Forschungsergebnisse vorbereitet und das diesem Projektthema zugrunde liegende Anliegen der sich auf allen Gebieten von Wissenschaft, Technik und der Konsumtion ständig zu vertiefenden Umweltbildung garantiert. Der Bereich Presse und Öffentlichkeitsarbeit/Marketing der TU Chemnitz wird über Pressemitteilungen, Beiträge in regionalen und überregionalen Medien sowie Broschüren und Dokumentationen die Forschungsergebnisse einer breiten Öffentlichkeit vorstellen.

Ein Transfer des erarbeiteten Wissens erfolgt ebenfalls über die Aus- und Weiterbildung an der Professur Kunststoffverarbeitungstechnik, die Fördervereinigung der Professur und die zahlreichen Kontakte zur kautschuk- und kunststoffverarbeitenden bzw. -anwendenden Industrie.

Weiterhin werden Fachartikel publiziert sowie Kolloquien und Seminare von der Professur durchgeführt, auf denen die Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeiten präsentiert und diskutiert werden. Die Ergebnisse werden ebenfalls auf regionalen, nationalen und internationalen Messen und Ausstellungen mit Unterstützung der TU Chemnitz präsentiert. Der Kanzler - Bereich wissenschaftliche Dienste - wird vorgesehene Messebeteiligungen unterstützen.

Im Rahmen des bestehenden wissenschaftlichen Netzwerkes zur internationalen Zusammenarbeit bestehen zu den Universitäten in Lodz (Polen), Dnepropetrowsk (Ukraine), der TU Sofia (Bulgarien) und dem ITT Hanoi (Vietnam) enge arbeitsteilige Programme zur Lösung der komplexen Aufgaben. Mit dem ITT Hanoi wurde ein gemeinsames Forschungsprojekt "Elastomerlegierungen unter tropischen Bedingungen" vereinbart.

Chemnitz, den

Für den Zuwendungsempfänger,
Technische Universität Chemnitz,
der Kanzler

Für die Erfinder

Dr.-Ing. H. Michael Dr. H. Scholz

Anlage 4: Datenblatt - Werkstoffkennwerte der Elastomerlegierungen

Kennwert	Einheit	Prüfnorm	EA 50/50	EA 60/40	EA 70/30	EA 80/20
Zugfestigkeit σ_{zB}	[MPa]	DIN 53455-5-3	17,4	16,2	14,9	12,2
Reißdehnung ϵ_R	[%]		286,3	249,4	246,9	203,2
Zugmodul E_z	[MPa]	DIN 53457	213	163	109	59
Shore-Härte	[Shore D]	DIN 53505	5	45	38	32
Weiterreißwiderstand W quer längs	[N/mm]	DIN 53507-A	42,7 30,2	27,3 26,5	19,4 17,7	12,1 12,9
Zugverformungsrest ZV	[%]		DIN 7724 DIN 53518	37,3	28,2	20,9
Rückprallelastizität R	[%]	DIN 53512	36	35	38	40
Kerbschlagzähigkeit a_{cN} nach CHaRPY, 23°C	[kJ/m ²]	ISO 179-1/1eC	12,0	15,3	30,5	NB
Dichte ρ	[g/cm ³]		1,003	1,026	1,05	1,007

Weitere wichtige rezepturabhängige Werkstoffkennwerte:

Druckverformungsrest
(DIN 53517)

DVR = 22...35 % (RT, 24h Beanspruchungsdauer/
2 h nach Entlastung)

Kälteschlagzähigkeit
(DIN EN ISO 179 - 1/1eU)

$a_{cU} = 10...66 \text{ kJ/m}^2$ (- 40 °C)
 $a_{cU} = \text{NB}$ (- 20 °C)

Beständigkeit

beständig gegenüber Wasser, Salzlösungen,
verdünnten Säuren, schweren Mineralölen

Anlage 5

Empfehlungen zur Wahl der technologischen Parameter für das Spritzgießen von Elastomerlegierungen

Werkzeugtemperatur:	T_{WZ}	=	50 °C
Zylindertemperaturen:	T_{Einzug}	=	130 °C
	$T_{\text{Kompressionszone}}$	=	140 °C
	$T_{\text{Düse}}$	=	145 ... 160 °C

Drücke:	p_{Stau}	=	1,0 bar
	$p_{\text{Einspritz}}$	=	100 bar
	$P_{\text{Nachdr.}}$	=	0,5 $p_{\text{Einspritzdr.}}$

Schneckendrehzahl: $n_{\text{Schnecke}} = 150 \text{ min}^{-1}$

zu beachten:

- großer Düsendurchmesser - ca. 5 mm
- Schneckenlänge-/durchmesser Verhältnis - 20

Anlage 6

Markchancen der Elastomerlegierungen (Elastomeric Alloys - EAs) (dynamisch stabilisierte Compounds aus Gummimehl und Kunststoff)

Vergleiche mit auf dem Markt befindlichen TPE-V (Vernetzte TPE auf Polyolfinbasis) annähernd gleicher Shore-Härte und Polymerbasis zeigen, dass die Elastomerlegierungen (EAs) aus Gummimehl und Polypropylen in vielen Fällen vergleichbaren kommerziellen TPE-V ebenbürtig sein können. Von besonderem Vorteil ist der Preis der neuen EAs, der mit 2 bis 3 DM nur der Hälfte bis einem Drittel des Einkaufspreises von freiverkäuflichen TPE-V entspricht.

Eine Abschätzung der Mengen an unvernetzten (TPE) und vernetzten (TPE-V) Thermoplastischen Elastomeren, die durch unter Verwendung von Gummimehl hergestellten dynamisch stabilisierten Compounds (EAs) ersetzt werden können, erfolgt auf Grundlage des aktuellen Literatur- und Patentstudiums. Danach betrug der Verbrauch an unvernetzten und vernetzten Thermoplastischen Elastomeren in Europa im Jahre 1999 ca. 372 000 t. Der weltweite Gesamtbedarf an TPEs von ca. 885000 t teilt sich wie folgt über die Regionen auf: Europa mit ca. 372 000 t, USA mit ca. 415 000 t und Japan mit ca. 120 000 t in 1996.

Das durchschnittliche Wachstum liegt bei ca. 4 %, wobei weltweit mit einem leicht überdurchschnittlichen Zuwachs von 10 % für TPEs gerechnet werden kann. Wegen der Ähnlichkeit und des günstigen Preis/Leistungs-Verhältnisses kann ein großer Teil dieser TPEs durch die neue Elastomerlegierung mit einem Mischungsverhältnis von > 50 % / 50 % Gummimehl/Thermoplast ersetzt werden.

Die Ersatzmenge des TPEs kann sich bei Akzeptanz des neuen TPE-ähnlichen Compounds (EA) durch die Wirtschaft noch wesentlich erhöhen.

Der neue Werkstoff (EA) wirkt nicht nur auf dem TPE-Sektor, sondern auch auf dem Thermoplast- und Elastomerbereich substituierend (z. B. PVC-weich und SBR-Vulkanisate). Der neue Werkstoff kann für vielfältige Anwendungen, insbesondere für schlag- und stoßbeanspruchte Teile im Kfz- und Schienenfahrzeugbau, eingesetzt werden.

Schlussbericht

Teil III

Ergebniskontrollbericht

III. 1. Beitrag der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Projektes zu der förderpolitischen Zielstellung der Förderprogramme.

Alt- und Abfallgummimehl, insbesondere aus Lkw-Reifen, gilt aufgrund der beispiellosen Eigenschaftscharakteristik der dafür typischen Gummiqualitäten als werkstofflich wertvoll.

Durch die EG-Richtlinie über Abfälle und das Kreislaufwirtschaftsgesetz wird eine abfallwirtschaftliche Rangfolge der stofflichen Verwertung von organischen Stoffen, also auch des Altgummis, vor der Nutzung des Energiegehaltes festgelegt. Um die Chancen der werkstofflichen Verwertung zu verbessern, waren und sind insbesondere innovative Ideen für neue Produkte, Verfahren und Technologien gefragt. Als Beiträge dazu wurde die Entwicklung und der Einsatz von unbehandeltem oder auf verschiedene Weise aktiviertem Gummigranulat bzw. -mehl zur Herstellung dynamisch stabilisierter Compounds mit vernetzter elastomerer Phase den sogen. Elastomerlegierungen oder auch Elastomeric Alloys (EAs) betrachtet.

Die Realisierung der förderpolitischen Zielstellung folgte dem Grundsatz, die Verwendung von Gummimehl über das bisher übliche Maß hinaus zu erweitern. Mit der Erzeugung und technischen Nutzung der Elastomerlegierungen (TPE-typische Compounds) sind im westeuropäischen Maßstab neue Ansätze zur Abfallvermeidung betreffs Alt- und Abfallgummi in größtem Umfang gegeben.

III. 2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens

Beitrag zur Verringerung der Umweltbelastung durch Sondermüll aus Alt- und Abfallgummi durch internationale interdisziplinäre Zusammenarbeit auf dem Gebiet des werkstofflichen Recyclings von Alt- und Abfallgummi (TAMARREC-Projekt im EUREKA-Programm-Nr. 1080).

Entwicklung und Bereitstellung neuer Werkstoffe (Elastomerlegierungen) mit definierten TPE-typischen Eigenschaften für spezielle technische Anwendungsfälle. Dazu Nutzung insbesondere des Verfahrensschrittes "dynamische Stabilisation" beim Mischen von auf verschiedene Art hergestelltem Gummimehl mit speziellen Thermoplasten.

Nach praktizierter Herstellungs- und Verarbeitungstechnik der Elastomerlegierungen konnten an spritzgegossenen Probekörpern (Zugstäbe) Reißdehnungen > 250 % und Zugfestigkeiten > 12 MPa erzielt werden. Der Zugverformungsrest < 50 % weist diese Werkstoffe eindeutig der Gruppe der Thermoplastischen Elastomere (TPE) zu. Die Elastomerlegierungen zeichnen sich durch eine hohe Wärme- und Kälteschlagfestigkeit im Bereich von -40 °C bis +85 °C aus.

Von besonderem Vorteil ist der Preis der Elastomerlegierungen, der nur der Hälfte bis zu einem Drittel des üblichen Preises von auf dem Markt bereits eingeführten reinen Thermoplastischen Elastomeren mit ähnlichem Eigenschaftsspektrum entspricht.

Die Elastomerlegierungen sind recycelfähig, d. h. sie lassen sich im Gegensatz zu Gummi ohne nennenswerten Eigenschaftsverlust bis zu achtmal wiederverarbeiten.

Fernziel weiterer Forschungsarbeiten ist, als Mischungspartner des Altgummis auch Kunststoffrecyclate einzusetzen und einen Übergang vom Chargenmischprozess zur kontinuierlichen Herstellung zu schaffen.

Neben der erfolgreich praktizierten internationalen Zusammenarbeit mit Firmen und Institutionen Westeuropas besteht eine enge arbeitsteilige Zusammenarbeit mit Universitäten in Polen, der Ukraine, Bulgariens und einem Institut in Vietnam.

III. 3. Fortschreibung des Verwertungsplanes

Um die rasche Überführung der im F/E-Projekt ermittelten wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse in die Praxis zu fördern und zu sichern, wurde ein erster und ein zweiter Verwertungsplan aufgestellt. (2. Verwertungsplan s. Anlage 3 im Teil II des Schlussberichtes)

Der erste Verwertungsplan scheiterte in seiner Umsetzung an der Nichtrealisierbarkeit von Plänen einer Investorengruppe in Mecklenburg-Vorpommern zum Bau einer Produktionsanlage für die neuen Elastomerlegierungen.

Im zweiten Verwertungsplan werden neue Partner benannt, die in engster Zusammenarbeit mit den Projektbearbeitern der TUC in kurzer Zeit die Voraussetzung schaffen wollen, um die Elastomerlegierungen herzustellen und sie für neue, innovative Produkte anzuwenden. Zu diesem Zweck bildete sich eine Arbeitsgemeinschaft sächsischer Firmen und Institute. Über einen Förderantrag bei der Sächsischen Aufbaubank sollen zusätzliche finanzielle Mittel beschafft werden, die mit dazu beitragen, dass schon im Jahre 2001 erste Mustermengen der Elastomerlegierungen unter großtechnischen Bedingungen (auf Betriebsknetern) hergestellt und auf ebenfalls großtechnischen Anlagen - hier Spritzgießmaschinen - zu Formteilen verarbeitet werden, die im Automobilbau - hier in der Motorperipherie - Verwendung finden.

III. 4. Arbeiten, die noch zu keiner Lösung geführt haben

Nach Abschluss der durch die Laufzeit des Förderprojektes begrenzten Forschungsarbeiten können folgende wiss.-techn. Schwerpunktaufgaben benannt werden, die in zukünftigen Projekten zu lösen sind:

- III. 4.1. Charakterisierung von Gummimahlgut nach Oberflächenstruktur und -aktivität, Korngröße, Reinheitsgrad, Polymerbasis u. a. Besondere Beachtung sollten die traditionellen Gummimehllieferanten wie Rubber

Resources und Mülsener Recycling- und Handelsgesellschaft, aber auch die zukünftigen Hersteller von nach neuen Wirkprinzipien hergestelltem Gummimehl finden. Die Lösung dieser Aufgabe dient auch der geforderten Qualitätssicherung des weltweit in zunehmendem Maße auf dem Markt angebotenen Handelsproduktes "Gummimehl".

- III. 4.2. Grundsätzliche Modifizierungen und somit weitere Anpassung an Werkstoff-Nutzer-Forderungen sowohl der technologischen als auch der mechanisch-physikalischen Eigenschaften der EAs. Dies wird nur erreichbar sein, wenn auch der als Matrixphase gewählte Kunststoff bzw. das Kunststoffgemisch im Monomertyp geändert wird. Besondere Beachtung soll die Nutzung von sekundären Kunststoffen (reinen oder klassifizierten Recyclaten, Mischfraktionen und evtl. auch Kabelschrott) als Rezepturbestandteil der EAs finden. Es muss der Nachweis der Wirkung verschiedener aktiver und passiver Füllstoffe geführt werden. Besondere Beachtung sollen auch Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen finden, die in den EAs über bestimmte Orientierungseffekte für anisotrope Eigenschaften sorgen.
- III. 4.3. Erarbeitung allgemeingültiger Richtlinien, um die im Labor gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse auf maschinentechnisch spezifische Praxisverhältnisse zu übertragen.
- III. 4.4. Nutzung anderer Mischtechnologien
- . diskontinuierlich, z. B. Intermix-Innenmischer, Pressmischer
 - . kontinuierlich, z. B. reaktiver Extruder

III.5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Infolge mehrfacher Präsentationen der F/E-Ergebnisse auf nationalen und internationalen Fachmessen und Tagungen können umfangreiche Materialien, Dokumente und auch Poster zur Verfügung gestellt werden, die weitere Präsentationen auch bei zukünftigen Nutzern ohne nochmaligen großen Aufwand möglich machen.

III. 6. Einhaltung des Zeit- und Kostenplanes

Die ursprünglich geplante Laufzeit des geförderten F/E-Projektes wurde mit Umwidmungen finanzieller Mittel und mit Hilfe eines Aufstockungsantrages um 11 Monate verlängert. Damit ergab sich folgende Projektlaufzeit:

Beginn der F/E-Arbeiten:

01.01.1997

Abschluss der F/E-Arbeiten:

31.05.2000

Der Kostenplan wurde laufend präzisiert und eingehalten. Er wurde auch termingemäß sowie ohne Differenzbeträge im Verwendungsnachweis der finanziellen Fördermittel abgeschlossen und dem PT übergeben.