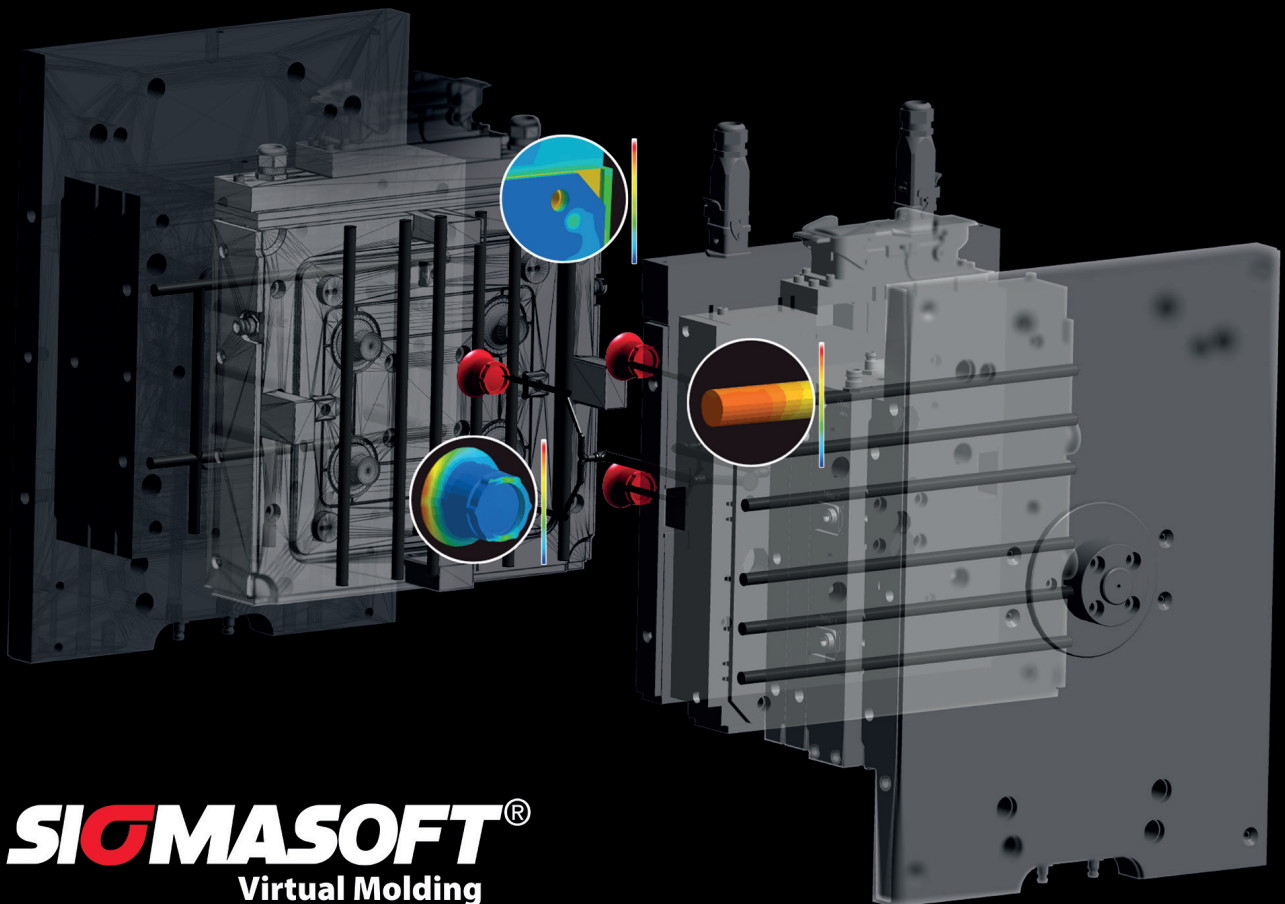




**Develop innovative solutions for high performance LSR materials and bring your molds and processes to the next level**



# Join the Rubber Community!



Subscribe for free to the Rubber Newsletter

## The Rubber Newsletter

Powered by **RFP Rubber Fibres Plastics International**

[ogy.de/rubber-newsletter](http://ogy.de/rubber-newsletter)

Follow us:



[www.gupta-verlag.com](http://www.gupta-verlag.com)



[info@gupta-verlag.de](mailto:info@gupta-verlag.de)



Dr. Gupta Verlags GmbH



[@guptaverlag](https://twitter.com/guptaverlag)

Verehrte Leserin, verehrter Leser,  
gestatten Sie mir bitte, dass ich mich vorstelle:

Mein Name ist Jörg Spangemacher. Ich bin seit mehr als 40 Jahren erfolgreich journalistisch und verlegerisch tätig. In dieser Zeit habe ich alle von mir betreuten Fachtitel in den Sprachen deutsch, englisch und chinesisch zu Marktführern in Bezug auf Abonnements und Anzeigenumsätze gemacht.

Nach der Übernahme aller Gesellschafteranteile durch meine Familie bin ich seit dem 1. September der Verleger und Geschäftsführer der Dr. Gupta Verlags GmbH.

Damit wird sich der Verlag nach einer Übergangsphase ganz neu aufstellen – zum Vorteil aller. Mit den wichtigsten Redakteuren erarbeiten wir gerade eine neue zeitgemäße Darstellung mit zusätzlichen journalistischen Inhalten. Das Ergebnis dieser Arbeit werden Sie ab der jeweils ersten Ausgabe des neuen Jahres erkennen.

Neue, qualifizierte Mitarbeiterinnen in Administration und Vertrieb modernisieren gleichzeitig die internen Abläufe des Verlages. Alle Geschäftsbereiche des Verlages werden neu aufgestellt, unterstützt durch die Installation modernster digitaler Infrastruktur zur internen und externen Kommunikation.

So versichere ich Ihnen, dass die Dr. Gupta Verlags GmbH mit ihren hochwertigen deutschen und internationalen Titeln in eine erfolgreiche Zukunft geführt wird – aufbauend auf ihrer traditionsreichen Vergangenheit.

Der Dr. Gupta Verlag steht fest zu den Interessen, Zielen und Werten des Geschäftsfeldes Kautschuk und Gummi. Deshalb freue ich mich darüber, wenn Ihr Unternehmen dies erkennt und Ihr Marketingbudget unsere Titel berücksichtigen wird.

Außerdem lade ich Sie ein, den Redaktionen jederzeit interessante und wegweisende Fachbeiträge und -vorträge Ihrer Mitarbeiter zur Veröffentlichung zuzusenden – allerdings ohne werbliche Inhalte. Schließlich lebt eine seriöse Fachzeitschrift von fundierten Informationen, objektiven Fakten und einem offenen Diskurs aus der Branche, deren Interessen sie vertritt. Möglich wird das nur sein, wenn Ihr Unternehmen die Zugehörigkeit zur Branche unterstreicht mit einem Statement in Form von fachspezifischen Anzeigen – mit dem Effekt, dass Sie Ihre Kunden direkt ansprechen können.

Sofern Sie Fragen oder Anregungen haben, rufen Sie mich bitte jederzeit an oder schreiben eine Mail:

Phone: +49 172 668 5550

Mail: [j.spangemacher@gupta-verlag.de](mailto:j.spangemacher@gupta-verlag.de)

Mit freundlichem Gruß



Jörg Spangemacher



## Technische Aufsätze

M. HESSE, H. KEUTER, B. KOOP, M. SCHLICHTING

### Neuer Temperaturfühler für Innenmischer ermöglicht präzisere Prozessführung ..... 466

Temperaturfühlerspitzen für Innenmischer müssen robust gebaut werden, was jedoch zu Abweichungen zwischen der gemessenen und der realen Temperatur führt. Die HF Mixing Group hat daher einen Temperatursensor mit verbessertem Ansprechverhalten entwickelt, der auch kritische Temperaturgrenzen genau bestimmen kann.

H. VAN HOEK, J. NOORDERMEER, G. HEIDEMAN, A. BLUME, W. DIERKES

### Devulkanisation von Pkw-Altreifengranulat im Doppelschneckenextruder. Teil 1 ..... 470

Gummigranulate können mithilfe eines Devulkaniationsreagens im Doppelschneckenextruder devulkanisiert werden. In diesem Beitrag wird ein optimiertes Verfahren zur Devulkanisation von Pkw-Reifengranulat, das SBR und BR sowie größere Mengen Kieselsäure enthält, vorgestellt.

L. TÖLLE, M. HOPP, T. HOEMANN

### Reduzierung der Faserstaubentstehung beim mechanischen Recycling. Zerkleinern von carbonfaserverstärkten Polycarbonaten mit unterschiedlichen Verstärkungsformen ..... 478

Die Faserstaubbildung ist eine Herausforderung beim mechanischen Recycling faserverstärkter Kunststoffe, da diese den Produktionsprozess stört und ein potenzielles Gesundheitsrisiko darstellt. Ein Hauptziel dieser Arbeit besteht darin, durch eine gezielte, materialspezifische Wahl der Zerkleinerungsparameter die Faserstaubentstehung zu reduzieren.

## Berichte

### Nachbericht zur Fakuma 2021

#### Willkommene Gelegenheit zum persönlichen Austausch entlang der Wertschöpfungskette ..... 452

### Fokus Additive Manufacturing

- 3D-Druck-Denkfabrik in Würzburg ..... 457
- Additive Fertigung von Dichtungen und Bauteilen aus originalen Weichmaterialien ..... 458
- News ..... 460

### Siliconelastomere

- Siliconelastomer für optische Anwendungen ..... 462
- Vorschau: Silicone Elastomers World Summit 2021 ..... 463
- Graphen-Nanoröhrchen ermöglichen Nutzung von Touchscreens mit Handprothesen ..... 464

### Vom SKZ-Technologietag 2021 ..... 465

### Deutsche Kautschukindustrie:

#### Automobilzulieferer am Rande des Abgrunds ..... 469

## Rubriken

### Editorial ..... 443

### GAK News ..... 445

#### Marktspiegel ..... 445

#### Wirtschaft ..... 446

#### Distributor-News ..... 449

#### Personelles ..... 450

### Firmenverzeichnis ..... 484

### Impressum ..... 490



## Firmen in den GAK Wirtschafts- und Technik-News

Firma .....	Seite	Firma .....	Seite	Firma .....	Seite
<b>A</b>		<b>F</b>		<b>P</b>	
ArGeZ .....	446	F.Illi Maris .....	449	Porsche .....	448
<b>B</b>		Fanuc .....	450	<b>R</b>	
BASF .....	451	FHWS .....	451	Rolf Schlicht .....	449
Biesterfeld .....	449	Freudenberg .....	446	<b>S</b>	
Black Bear .....	448	<b>G</b>		Security Matters .....	448
Braun .....	450	GME Chemicals .....	449	Sico .....	447
Brenntag .....	449	Gummiwerk Kraiburg .....	450	SMC .....	450
<b>C</b>		<b>H</b>		Sumitomo (SHI) Demag .....	450
Caldatrac .....	450	Helm .....	448	<b>V</b>	
Continental .....	446, 448	HS Schmalkalden .....	348	VDWF .....	450
<b>D</b>		<b>J</b>		<b>W</b>	
DKG .....	446	Jabil .....	450	Wacker .....	447
<b>E</b>		<b>K</b>		Waldorf Technik .....	450
Elkem .....	448	Kebo .....	450	Wynca .....	446
Evonik .....	446, 449	<b>M</b>			
Evonik Wynca .....	446	Michelin .....	448		

Marktspiegel		Juni 2021		Produktionsindex	
		gegenüber Juni 2020	gegenüber Mai 2021	Originalwert	kalenderbereinigt
Auftragseingang (Wert-Index)	Chemische Industrie	+ 42,1 %	+ 6,3 %		
	darin: chemische Grundstoffe	+ 52,8 %	+ 4,7 %		
	Gummi- und Kunststoffwaren	...	...		
	Gesamtindustrie	+ 34,9 %	+ 15,4 %		
Nettoproduktionsindex (Originalwert)	Chemische Industrie	+ 15,0 %	- 3,0 %		
	darin: chemische Grundstoffe	+ 13,9 %	- 7,6 %		
	Gummi- und Kunststoffwaren	+ 18,1 %	+ 6,7 %		
	darin: Gummiwaren	+ 23,5 %	+ 6,6 %		
	Kunststoffwaren	+ 16,9 %	+ 6,6 %		
Gesamtindustrie	+ 10,9 %	+ 6,2 %			
Nettoproduktionsindex (arbeitstäglich bereinigt)	Chemische Industrie	+ 13,0 %	- 5,6 %		
	darin: chemische Grundstoffe	+ 13,1 %	- 8,6 %		
	Gummi- und Kunststoffwaren	+ 13,9 %	+ 0,7 %		
	darin: Gummiwaren	+ 19,0 %	+ 0,6 %		
	Kunststoffwaren	+ 12,8 %	+ 0,7 %		
Gesamtindustrie	+ 7,0 %	+ 3,0 %			
Umsatz	Chemische Industrie insgesamt	+ 35,8 %	+ 7,1 %		
	darin: Auslandsumsatz	+ 38,1 %	+ 9,0 %		
	Gummi- und Kunststoffwaren insg.	+ 21,6 %	+ 8,9 %		
	darin: Auslandsumsatz	+ 26,0 %	+ 7,5 %		
	Verarbeitendes Gewerbe insgesamt	+ 19,2 %	+ 10,2 %		
	darin: Auslandsumsatz	+ 21,7 %	+ 10,6 %		
Importe (Wert)	Gummiwaren	...	...		
	Kunststofferzeugnisse	...	...		
	Importe insgesamt	+ 27,1 %	+ 5,6 %		
Exporte (Wert)	Gummiwaren	...	...		
	Kunststofferzeugnisse	...	...		
	Exporte insgesamt	+ 23,6 %	+ 8,3 %		
<b>Deutsche Kunststoff- und Gummiwarenproduktion</b>					
<b>A Herstellung von chemischen Grundstoffen</b>					
Juni 2021 gegenüber dem Vormonat		- 7,4 %	- 8,6 %		
Mai 2021 gegenüber dem Vormonat		+ 4,5 %	+ 5,2 %		
2020 gegenüber 2019		- 0,5 %	- 1,0 %		
<b>B Herstellung von Chemiefasern</b>					
April 2021 gegenüber dem Vormonat		- 5,4 %	- 5,0 %		
März 2021 gegenüber dem Vormonat		+ 2,5 %	+ 3,4 %		
2020 gegenüber 2019		- 10,6 %	- 10,8 %		
<b>C Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren</b>					
April 2021 gegenüber dem Vormonat		+ 6,7 %	+ 0,7 %		
März 2021 gegenüber dem Vormonat		- 3,7 %	- 0,5 %		
2020 gegenüber 2019		- 8,2 %	- 9,0 %		
<b>D Herstellung von Kunststoffwaren</b>					
April 2021 gegenüber dem Vormonat		+ 6,6 %	+ 0,7 %		
März 2021 gegenüber dem Vormonat		- 4,3 %	- 1,0 %		
2020 gegenüber 2019		- 5,8 %	- 6,7 %		
<b>E Herstellung von Gummiwaren</b>					
Juni 2021 gegenüber dem Vormonat		+ 6,6 %	+ 0,6 %		
Mai 2021 gegenüber dem Vormonat		- 1,6 %	+ 1,6 %		
2020 gegenüber 2019		- 17,3 %	- 18,2 %		

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes

## Wirtschaft

## ArGeZ: Lieferketten zum Zerreißen gespannt

Wie die **Arbeitsgemeinschaft Zulieferindustrie (ArGeZ)** berichtet, steht die Zulieferindustrie unter starkem Druck. Der Halbleitermangel führe zu signifikanten Produktionsausfällen in der Automobilindustrie und anderen wichtigen Abnehmerbranchen. Die kurzfristigen Ankündigungen von Werksschließungen setzten den Zulieferbetrieben in Deutschland enorm zu, gleichzeitig hätten diese selbst massive Probleme bei der Rohstoffversorgung. Nach dem Coronaschock und den schlagartigen Auftragsrückbrüchen im Q1 2020 stünden nach kurzer Erholung wieder die Bänder still. Hintergrund seien die Versorgungsunterbrechungen bei den Halbleitern, die in nahezu jedem Produkt verbaut werden. Für die vielen Zulieferbetriebe in Deutschland spitze sich die Situation zu. Verbindlich bestellte Lieferungen würden kurzfristig, z. T. mit einem Tag Vorlauf, storniert, Lkws müssten wieder umkehren, so die ArGeZ. Die Auslieferungsläger der Zulieferer liefen voll, es entstünden enorme Mehrkosten für Logistik und Lagerung. Gleichzeitig verweigerten die Abnehmer, z. B. Automobilhersteller, die Abnahme der bestellten Ware und

weherten berechnete Zahlungsansprüche ihrer Lieferanten mit dem Hinweis auf den Chipmangel ab. Den Lieferanten würden die notwendige Liquidität und die Planungsgrundlagen entzogen. Stabile und gegenseitig wertschätzende Beziehungen zwischen Fahrzeugindustrie und Zulieferung wären indes aktuell besonders wichtig. Die Zulieferer stünden ihrerseits unter nie dagewesenem Druck – bedingt durch die erheblichen Verwerfungen der weltweiten Lieferketten, in denen vergleichsweise kleine Störungen immer wieder enorme und langanhaltende Auswirkungen haben. Sie selbst müssten auf schwierigen Märkten einkaufen. Viele Rohstoffpreise, z. B. beim Stahl, bei Metallen und bei Kunststoffen, befänden sich auf historischen Höchstständen. Zum Teil seien die erforderlichen Mengen schlicht nicht verfügbar. Und gleichzeitig zögen die Energiepreise stark an. Dadurch werde die Liquidität der Zulieferer zusätzlich belastet. Für viele mittelständische Unternehmen könnte dies das Aus bedeuten, so die ArGeZ.

[www.argez.de](http://www.argez.de)

## DKG: Forum Kautschukrheologie gegründet

Die **DKG Deutsche Kautschuk Gesellschaft e. V.** hat am 29. September 2021 das Forum Kautschukrheologie in einer Online-Veranstaltung eröffnet, an der 67 DKG-Mitglieder teilnahmen. Das Treffen eröffnete der erste stellvertretende DKG-Vorsitzende und -Geschäftsführer **Prof. Andreas Limper**. Mit den Foren

bietet die DKG ihren Mitgliedern ein Format an, um den wissenschaftlichen Gedankenaustausch zu pflegen, gemeinsam übergeordnete wissenschaftlich-technische Fragestellungen zu beantworten und im Dialog von Wissenschaft und Industrie öffentlich geförderte Forschungsprojekte zu initiieren. Das Forum

Kautschukrheologie ist das erste DKG-Forum und hat es sich insbesondere zur Aufgabe gemacht, gemeinsam ein verbessertes Material- und Verarbeitungsverständnis in Hinblick auf optimierte Bauteileigenschaften zu entwickeln sowie rheologische Prüftechnik zu bewerten, zu entwickeln und ggf. zu optimieren. Zum Leiter des Forums wurde **Dr. Harald Ehrentraut** (Freudenberg) und zum stellvertretenden Forumsleiter **Dr. Endres Borchardt** (Continental) gewählt. In der Eröffnungsver-

anstaltung gab Dr. Ehrentraut einen Einblick in die aktuellen Aktivitäten des Forums. Dem Forum beitreten kann jedes DKG-Mitglied, das aktiv an einem der Projekte des Forums teilnimmt. Die unverbindliche Teilnahme an einer Forumssitzung ist möglich. Die nächste Forumssitzung findet am **18. November 2021** statt. Bei Interesse an einer Teilnahme kontaktieren Sie bitte Dr. Ehrentraut, E-Mail [harald.ehrentraut@freudenberg.com](mailto:harald.ehrentraut@freudenberg.com).

[www.dkg-rubber.de](http://www.dkg-rubber.de)

## Evonik/Wynca: Neues Werk für pyrogene Kieselsäure in China

**Evonik Wynca (Zhenjiang) Silicon Material Co., Ltd**, ein Gemeinschaftsunternehmen von **Evonik** und dem chinesischen Unternehmen **Wynca**, hat sein neues Werk für pyrogene Kieselsäure im Zhenjiang New Material Industry Park in der Provinz Jiangsu in Betrieb genommen. Die Anlage ist die erste Produktionsstätte für pyrogene Kieselsäure von Evonik in China. Das Unternehmen vermarktet das Produkt unter dem Namen **Aerosil**. Das Joint Venture kombiniert die Kieselsäuretechnologie von Evonik mit der Siliconindustriekette von Wynca. Die Monomer-Nebenprodukte Methyltrichlorsilan und Chlor-silan von Wynca werden ge-

nutzt, um daraus pyrogene Kieselsäureprodukte herzustellen. Auch Salzsäure, die ebenfalls als Nebenprodukt anfällt, wird als Rohstoff für den Wynca-Standort Zhenjiang vollständig weiter genutzt. Dieser geschlossene Kreislauf soll zu Synergien bei der Herstellung von Siliconmonomeren, Chlorsilan und pyrogener Kieselsäure führen und so zur Kreislaufwirtschaft beitragen. Laut Evonik sei man mit dem Joint Venture gut aufgestellt, um eine vollständige globale Lieferkette für pyrogene Kieselsäure für Kunden in China und Asien aufzubauen.

[www.evonik.com](http://www.evonik.com)

[www.wynca.com](http://www.wynca.com)

**Eröffnungsfeier des neuen Werks für pyrogene Kieselsäure im chinesischen Zhenjiang.**



Quelle: Evonik

## Wacker: Beteiligung am Spezialsilanhersteller Sico Performance Material

Die Münchner **Wacker Chemie AG** erwirbt für rd. 120 Mio. EUR 60 % der Anteile des chinesischen Spezialsilanherstellers **Sico Performance Material Co., Ltd.** Eine entsprechende Vereinbarung unterzeichneten die beiden Unternehmen am

27. Oktober 2021. Der Abschluss der Transaktion wird nach Erteilung der erforderlichen Genehmigungen im H1 2022 erwartet. Die 2013 gegründete Sico Performance Material stellt im Jining New Material Industrial Park in der chinesischen Provinz

Organofunktionelle Silane kommen u. a. bei der Formulierung hochelastischer Spezialkleber für Bauanwendungen zum Einsatz.



Quelle: Wacker Chemie AG

# GUMMI BERUHIPT

CT Datentechnik hilft, es herzustellen



[www.ctdatentechnik.de](http://www.ctdatentechnik.de)  
IT für die perfekte Gummimischung



Shandong eine Reihe von organofunktionellen Silanen her, die bspw. in der Bauindustrie, im Automobilbau, in der Halbleiter- und in der Elektronikindustrie zum Einsatz kommen. Das Unternehmen, das auf diesem Gebiet zu den führenden Anbietern in China zählt, erzielte 2020 einen Jahresumsatz von 54 Mio. EUR. Wacker stellte organofunk-

tionelle Silane unter dem Namen Geniosil bislang ausschließlich in Deutschland her. Die Produkte sind hybride Verbindungen, die die Funktionalität einer reaktiven organischen Gruppe mit der anorganischen Funktionalität eines Alkylsilikats in einem einzigen Molekül verbinden.

[www.wacker.com](http://www.wacker.com)

### Elkem: Ausbau des Werkes für Spezialsilicone in Roussillon

Elkem wird nach eigenen Angaben rd. 36 Mio. EUR in die Modernisierung seiner Silicon-Upstream-Anlage in Roussillon (Frankreich) investieren, um die Versorgung von Kunden in Europa, dem Nahen Osten und Afrika (EMEA) sowie in Amerika mit neuen Spezialsiliconen sicherzustellen. Durch die Investition wird die Kapazität um 20.000 jato erweitert, so dass sich die effektive Kapazität der Anlage für Siliconzwischenprodukte auf

100.000 jato erhöht und gleichzeitig Verbesserungen in den Bereichen Produktivität, Kosten, Nachhaltigkeit und Klimaschutz erzielt werden. Dabei handelt es sich um das größte Investitionsprojekt im europäischen Silicongeschäft von Elkem seit einem Jahrzehnt. Die Erweiterung soll im Q3 2023 in Betrieb genommen werden.

[www.elkem.com](http://www.elkem.com)

### Black Bear/Helm: Partnerschaft für recycelten Industrieruß

Black Bear Carbon B.V. und die Helm AG sind eine langfristige Vertriebs- und Marketingpartnerschaft eingegangen. Black Bear wird mit seiner proprietären Technologie recycelten Industrieruß (recovered Carbon Black – rCB) aus Altreifen anstelle von fossilem Öl als Rohstoff herstellen. Die beiden Unternehmen werden das Produkt gemeinsam Industriekunden anbieten. Helm gehört zu den weltweit größten Chemie-Marketingunternehmen. Helm wird die Ruße künftig exklusiv vermarkten, die Black Bear

Carbon in seiner in Geleen, Niederlande, noch im Bau befindlichen Recycling-Anlage herstellt. Das Werk soll im H2 2023 in Betrieb genommen werden. Beide Partner wollen ihre Zusammenarbeit künftig ausbauen, sobald geplante weitere Pyrolyseanlagen von Black Bear Carbon fertiggestellt werden. Im Mai 2021 gab das Unternehmen bekannt, dass es in einem ersten Schritt 7,5 Mio. EUR zur Finanzierung des gesamten Kapitalbedarfs von 78 Mio. EUR für seine neue rCB-Anlage im Chemelot Industrial Park einwerben konnte.

[www.blackbearcarbon.com](http://www.blackbearcarbon.com)  
[www.helmag.com](http://www.helmag.com)

### Porsche/Michelin: Initiative für nachhaltigen Naturkautschuk

Porsche und Michelin engagieren sich für den nachhaltigen Abbau von Naturkautschuk. Mit dem Projekt „CASCADE“ (Committed Actions for Smallholders Capacity Development) setzen sich die beiden Unternehmen für Transparenz und bessere Arbeitsbedingungen bei der Roh-

#### Schulung für indonesischen Kautschuk-Kleinbauern in Jambi



Quelle: Porsche

stoffgewinnung ein. Mit der Initiative wollen die langjährigen Partner Kleinbauern in Sumatra, Indonesien, beim Kautschukabbau unterstützen. CASCADE ist eines der weltweit ersten Förderprojekte, das an der tiefsten Stufe der Naturkautschuk-Lieferkette ansetzt. Im Rahmen der Initiative werden über 1.000 Kleinbauern durch lokale Partner geschult, um die Abbaumetho-

den umweltschonender und effizienter zu gestalten. Dies trägt maßgeblich dazu bei, die Lebensbedingungen der Kleinbauern und ihrer Familien langfristig zu verbessern. Porsche und Michelin investieren rd. 1 Mio. EUR in das zunächst bis 2024 laufende Projekt.

[www.michelin.com](http://www.michelin.com)  
[www.porsche.de](http://www.porsche.de)

### Continental/Security Matters: Entwicklungsprojekt zur Rückverfolgung von Naturkautschuk

Continental und Security Matters (SMX), ein Spezialist zur Digitalisierung von physischen Objekten in der Blockchain, arbeiten gemeinsam an der Entwicklung und Erprobung einer Marker-Technologie für Naturkautschuk. Dazu haben beide Unternehmen kürzlich eine Kooperationsvereinbarung geschlossen. Die Technologie soll künftig zu mehr Transparenz und Rückverfolgbarkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Reifen und technischen Gummiprodukten von Continental beitragen. So sollen bis spätestens 2050 alle Materialien, die das Unternehmen in der Reifenproduktion einsetzt, aus verantwortungsvollen Quellen stammen. Versehen mit speziellen Sicherheitsmerkmalen ermöglicht der Einsatz von Marker-Substan-

zen die unsichtbare Kennzeichnung des Naturkautschuks mit Informationen zu seiner genauen geografischen Herkunft. Mit Hilfe spezieller Lesegeräte sowie einer eigens entwickelten Software können die Informationen zum Naturkautschuk zu jeder Zeit ausgelesen und dessen Herkunft exakt zugeordnet werden. Im Rahmen der Industrialisierung dieser Technologie wäre es zudem denkbar, dass die Marker-Technologie mit der als besonders fälschungssicher bekannten Blockchain-Technologie verbunden wird. Die Unternehmen arbeiten nun daran, die Marker-Technologie auch im größeren Maßstab im Rahmen der Kautschukgewinnung einzusetzen.

[www.continental.com](http://www.continental.com)

[www.gak.de](http://www.gak.de)

## Distributor News

### Rolf Schlicht: Repräsentant für F.Ili Maris in Deutschland und Österreich

Die Fa. **Rolf Schlicht GmbH** ist seit August 2021 Repräsentant für **F.Ili Maris S.p.A.** in der Region Deutschland und Österreich. Das italienische Unternehmen F.Ili Maris ist seit den 1960er Jahren im Bereich der Mischtechnik tätig und hat sich auf die Herstellung von gleichläufigen Doppelschneckenextrudern spezialisiert. Das Angebot um-

fasst sowohl die Entwicklung und Konstruktion kundenindividueller Extruder und Schnecken als auch klassische Single-Extruder-Lösungen. F.Ili Maris verfügt zudem über ein umfangreich ausgestattetes Testzentrum mit angeschlossenem Labor.

[www.mariscorp.com](http://www.mariscorp.com)  
[www.schlicht-gmbh.de](http://www.schlicht-gmbh.de)

### Biesterfeld: Übernahme von GME Chemicals

Die **Biesterfeld Gruppe** hat die Mehrheitsanteile an **GME Chemicals**, einem der führenden

Distributeure in Süd-Ost-Asien für Spezialchemikalien und Polymere mit Firmensitz in Singapur,

erworben. Dies gab das Unternehmen am 20. Oktober 2021 bekannt. Eine vollständige Übernahme der restlichen Anteile soll vertragsgemäß in fünf Jahren erfolgen. GME Chemicals ist in den Märkten für Performance- und Industriechemikalien, Lebensmittel, Pharmazeutika, Elastomere

und Spezialpolymere aktiv. Das Unternehmen verfügt über operative Tochtergesellschaften in Malaysia, Indonesien, Vietnam, Thailand und China und hat 60 Mitarbeiter.

[www.biesterfeld.com](http://www.biesterfeld.com)  
[www.gme-chemicals.com](http://www.gme-chemicals.com)

### Evonik: Brenntag vertreibt funktionelle Silane in 19 europäischen Ländern

**Evonik** hat die Vertriebsvereinbarung mit **Brenntag** für die **Dynasytan**-Produktlinie um 16 Länder in Osteuropa erweitert. Ab sofort vertreibt Brenntag die Silanprodukte zusätzlich in Polen, Tschechien, Slowenien, Slowakei, Ungarn, Serbien, Rumänien, Bulgarien, Kroatien, Mazedonien, Bosnien und Herzegowina,

Kosovo, Albanien, Estland, Lettland und Litauen. Brenntag vertreibt seit 1993 Produkte aus der Dynasytan-Reihe in Deutschland, später kamen Österreich und die Schweiz hinzu.

[www.brenntag.com](http://www.brenntag.com)  
[www.evonik.com](http://www.evonik.com)

# Ihr Partner für die Produktentwicklung



GRUPE BORFLEX

## Nutzen Sie unsere Expertise auf dem Gebiet zu Ihrem Vorteil.

Unsere Expertise auf dem Gebiet der Charakterisierung von Kautschuken, deren Mischungen und der daraus gefertigten Endprodukte stellen wir auch unseren Kunden zur Verfügung. Unser Ziel ist es, Sie bei Umsetzung ihrer Entwicklungsideen sowohl durch standardisierte Messverfahren als auch durch maßgeschneiderte Prüf- und Analyseverfahren zu unterstützen.

### R&D Video



+41 91 640 50 50  
[sales@borflex-rex.ch](mailto:sales@borflex-rex.ch)  
[www.borflex-rex.ch](http://www.borflex-rex.ch)

Borflex Rex SA  
Via Ruchat-Roncati 1  
CH-6850 Mendrisio



## Personelles

## Gummiwerk Kraiburg: Frieder Vielsack übernimmt F&amp;E

**Dr. Frieder Vielsack** hat zum 1. September 2021 die Leitung der Forschungs- und Entwicklungsabteilung beim Gummiwerk Kraiburg übernommen. In seiner neuen Position ist er verantwortlich für die Führung des Bereichs und wird insbesondere die Bereiche kundenspezifische Materiallösungen und innovative Produkte für neue Anwendungsfelder weiter ausbauen. Frieder Vielsack begann seine berufliche Laufbahn 1999 in der Unternehmenssparte TPE von Gummiwerk Kraiburg – der späteren Kraiburg TPE GmbH & Co. KG. Seither hatte er die Positionen in Vertrieb und Entwicklung inne. In den vergangenen Jahren verantwortete er zahlreiche Entwicklungen und Innovationen im Bereich der thermoplastischen Elastomere. Zuletzt entwickelte er als Head of Ad-

vance Development eine Technologie, um die Leistungsfähigkeit von thermoplastischen Elastomeren in Richtung derer von Gummimaterialien zu verschieben. Daraus entstanden sogenannte thermoplastische Elastomerhybride (TEH).

[www.kraiburg-rubber-compounds.com](http://www.kraiburg-rubber-compounds.com)



Dr. Frieder Vielsack

## Sumitomo (SHI) Demag: Erweiterung des Medical-Teams

Die Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH erweitert ihr Medical-Team. **Andrew Sargisson** betreut seit dem 1. August 2021 als Regional Sales Director (Business Development Medical) Werkzeugbauer und Automationsfirmen in Süddeutschland und der Schweiz. **Bob Brady** übernahm zum 1. Mai 2021 bei Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery North America Inc., Suwanee (USA), die Koordination der japanischen Produkte. Andrew Sargisson arbeitet seit 34 Jahren in der Kunststoffindustrie, darunter für Unternehmen wie Fanuc, Waldorf Technik oder Kebo. Seit 27 Jahren beschäftigt

er sich mit der Medizintechnik-Branche und gilt als Vertreter von Sumitomo in Großbritannien als Mann der ersten Stunde bei



Andrew Sargisson

vollelektrischen Maschinen. Der 58-jährige Engländer lebt seit 2007 in Deutschland und besitzt die doppelte Staatsbürgerschaft. Bob Brady übernahm in den Vereinigten Staaten die eigens neu geschaffene Position als Business Development Manager Medical/Healthcare. Er verfügt über 30

Jahre Branchenerfahrungen und kam über Stationen bei Medizintechnik-Herstellern wie SMC Ltd. und Jabil Healthcare (ehemals Nypro) zu Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery North America.

[www.sumitomo-shi-demag.eu](http://www.sumitomo-shi-demag.eu)

## HS Schmalkalden: Verleihung der Förderpreise 2020 und 2021

Die Auswahlkommission der Hochschule Schmalkalden und der Verband Deutscher Werkzeug- und Formenbauer haben im Rahmen des jährlichen Empfangs der Stadt Schmalkalden und der Gesellschaft der Freunde und Förderer der Hochschule am 20. Oktober 2021 die Förderpreise für 2020 und 2021 vergeben. **Samuel Werner** erhielt den Förderpreis 2020 für seine Masterarbeit „Entwicklung einer Sicherheitsklemme für Infusionspumpen“. **Julian Gundelwein** wurde für seine Bachelorarbeit „Kondensation von Siloxanen und deren Abtransport“ mit dem Förderpreis 2021 ausgezeichnet. Samuel Werner beendete sein Studium an der Hochschule Schmalkalden

im September 2019 mit der Gesamtnote 1,2. Seine Masterarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der B. Braun AG in Melsungen geschrieben und von **Prof. Stefan Roth** betreut. Julian Gundelwein schloss sein Studium im März 2021 mit der Gesamtnote 1,7 ab. Seine Bachelorarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Caldatrac Industrieofenbau GmbH in Hötzhelm geschrieben und von **Prof. Robert Pietzsch** betreut. VDFW-Mitglied und Formconsult-Geschäftsführer **Stephan Hoffmann** übernahm die Preisträgerlaudationes und überreichte die Auszeichnungen an die beiden jungen Ingenieure.

[www.hs-schmalkalden.de](http://www.hs-schmalkalden.de)

Laudator Stephan Hoffmann mit den Preisträgern Julian Gundelwein und Samuel Werner sowie dem Vizepräsidenten - Forschung und Transfer Prof. Dr. Thomas Seul.



[www.gak.de](http://www.gak.de)

## BASF: Neuordnung der weltweiten Forschungsaktivitäten

Die BASF wird ihre weltweiten Forschungsaktivitäten im Laufe des zweiten Quartals 2022 in einer zentralen Forschungseinheit mit Sitz in Ludwigshafen bündeln. Die Leitung des rund 3.500 Mitarbeitende starken neuen Zentralbereichs wird **Detlef Kratz** (59), President, übernehmen. Kratz leitet derzeit den BASF-Bereich Process Research & Chemical Engineering, Ludwigshafen. **Jianfeng Jeffrey Lou** (53), President, Advanced Materials & Systems Research, BASF Advanced Chemicals Co., Ltd., Shanghai, übernimmt am 1. Januar 2022 die Leitung des Bereichs Greater China, BASF (China) Company Ltd., Shanghai. **Stephan Kothrade** (54), President, Greater



Detlef Kratz

China, BASF (China) Company Ltd., Shanghai, übernimmt zum gleichen Zeitpunkt die Leitung des Bereichs Intermediates, Ludwigshafen. Die derzeitige Leiterin des Bereichs, **Andrea Frenzel** (51), President, wird ihr Arbeits-

verhältnis auf eigenen Wunsch [www.basf.com](http://www.basf.com) vorübergehend ruhen lassen.

## HS Würzburg-Schweinfurt: Neue Forschungsprofessur/Extrusion

Der Fachbereich Kunststoffverarbeitung der **Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt (FHWS)** hat aktuell eine neue Forschungsprofessur für die Extrusion ausgeschrieben. Die Stellenausschreibung steht im Zusammenhang mit der Gründung eines zweiten Hochschulstandorts in Haßfurt. Der Bewerber/die Bewerberin hat die Aufgabe, den Aufbau und die Leitung des Technologietransferzentrums Haßfurt mit dem Titel „Smart Polymer Pipe Solutions“ (TZ-SPPS) zu überneh-

men. Die Kooperationspartner der FHWS – die Stadt Haßfurt und der Landkreis Haßberge, regionale Unternehmen, Kreditinstitute, die IHK Würzburg-Schweinfurt und die Handwerkskammer – stellen die Räumlichkeiten zur Verfügung und finanzieren die Stiftungsprofessur. Die Professur ist als Forschungsprofessur ausgelegt, d. h., dass zu dieser Tätigkeit 50 % Lehre und 50 % Forschung gehören. Die Bewerbungsfrist läuft am 28. November 2021 aus.

[www.fhws.de](http://www.fhws.de)

# RUBBER COMPOUNDS. SILICONE COMPOUNDS.

**Gummiwerk KRAIBURG**  
Antibakterielle Compounds  
für Ihre Anforderungen.



# Willkommene Gelegenheit zum persönlichen Austausch entlang der Wertschöpfungskette

Die Fakuma 2021 vom 12. bis 16. Oktober 2021 in Friedrichshafen

Die 27. Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung Fakuma 2021 markierte den langersehnten Neustart nach fast zwei Jahren Messeabstinenz. Veranstalter Schall begrüßte insgesamt 1470 Aussteller aus 39 Ländern (2018: 1933 Aussteller). Rund 30.000 Besucher nutzten gerne die Möglichkeit zum persönlichen Austausch mit Kunden und Geschäftspartnern und waren froh, endlich wieder Messeluft schnuppern zu können.

„Die Fakuma hatte sogar in diesem Jahr noch mehr Bedeutung“, ist sich **Annemarie Schur**, Projektleiterin der Fakuma beim Messeveranstalter P. E. Schall, sicher. „Zum einen, weil Präsenzmessen erst in diesem Herbst 2021 wieder möglich sind, und zum anderen, weil der Themenkomplex Umwelt-



Annemarie Schur

schutz, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit ein immenses Aufgabengebiet ist, das wir alle anpacken müssen.“

„Wir wollen jetzt gemeinsam nach vorn in die Zukunft schauen“, sagte **Bettina Schall**, die Messeveranstalterin und Geschäftsführer-



Bettina Schall

in der P. E. Schall GmbH & Co. KG, anlässlich der Eröffnungspressekonferenz. „Diese Fakuma ist die passende Plattform dafür, die aktuellen Herausforderungen der Branche zu meistern. In diesem Herbst zählen keine Rekordzahlen, keine Superlative. Was allein zählt, ist, dass wir alle gemeinsam diesen Restart lebendig machen und unsere Aufgaben anpacken.“

**Sandra Füllsack**, Geschäftsführerin der Motan Holding GmbH und Sprecherin des Fakuma-Ausstellerbeirats, bestätigte: „Viele traditionsreiche Weltmarktführer haben die Krise genutzt, um Innovationen voranzutreiben. Der Trend zur Digitalisierung hat sich beschleunigt. Konzepte zum Aufbau einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffprodukte sind firmenübergreifend erarbeitet worden. Jede Krise hat auch ihre Chance, und viele kluge Köpfe haben diese genutzt.“

Die Messehallen in Friedrichshafen waren vor allem am zweiten und dritten Tag sehr gut besucht. Insgesamt kamen laut Veranstalter ca. 30.000 Besucher an den Bodensee (2018: ca. 48.000).

## Ein leidenschaftliches Plädoyer für Kunststoffe

„Ich freue mich riesig, dass so etwas wie heute wieder möglich ist“, erklärte **Prof. Dr. Martin Bastian**, Institutsdirektor des SKZ in Würzburg, in der Pressekonferenz zur Messeröffnung. In seinen weiteren Ausführungen setzte er den Akzent darauf, was in der Branche zu tun sei: „Wir müssen mehr Verantwortung übernehmen für das, was mit dem Kunststoff passiert.“ Und weiter: „Wir



Martin Bastian

müssen dafür sorgen, dass Kunststoff nicht nur akzeptiert, sondern mit Begeisterung eingesetzt wird. Und wir müssen noch viel mehr über den Nutzen aufklären“, so Bastian. „Wir müssen schon in den Schulen und Kindergärten präsent sein und klarmachen, dass wir ohne Kunststoffe die Energiewende nie und nimmer hinkriegen.“

Nicht weniger eindringlich war auch das Plädoyer von **Dr. Thomas Probst**, Hauptreferent beim Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung, der einen exklusiven Blick hinter die Kulissen der Recyclingwirtschaft gewährte und über Hürden und Schwierig-



Thomas Probst



keiten beim Recycling referierte. „In der breiten Wahrnehmung werden Kunststoffe nicht verstanden“, so lautet seine Erkenntnis.

Die diesjährige Fakuma lieferte den Beweis, dass die Kunststoffbranche in dieser Diskussion die Lösung und nicht das Problem ist und einen ganzen Fächer an technologischen Lösungen bereithält, um die Herausforderungen hinsichtlich Klimawandel, Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung mit allen Stakeholdern der Gesellschaft anzugehen.

### Simulation und Messtechnik

Auf dem Weg zur Nachhaltigkeit kommt es vor allem auf das intelligente Zusammenspiel von maßgeschneiderten Materialien und effizienter Produktions- und Verarbeitungstechnologie an. Bei der Optimierung kann die Digitalisierung z. B. in Form von Simulationen und dem Einsatz von KI wertvolle Dienste leisten.

Die **Sigma Engineering GmbH** hat ihre Simulationssoftware Sigmasoft weiterent-

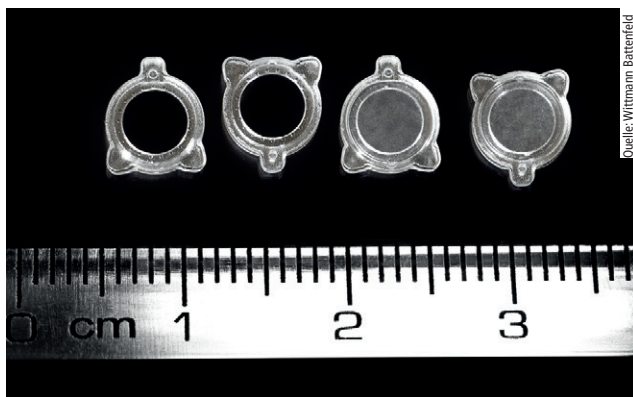
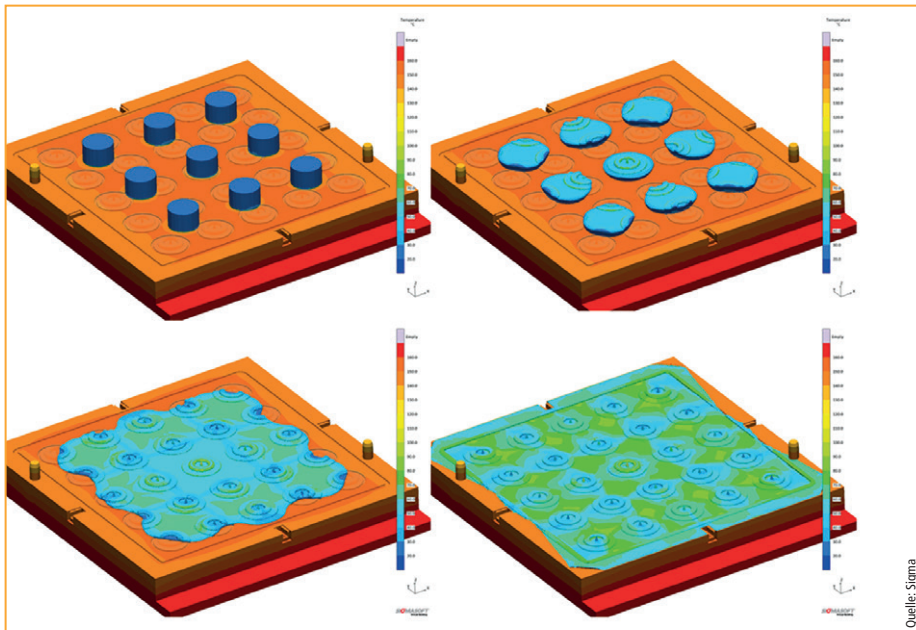
wickelt. Die neue Version 5.3.1 ermöglicht erstmalig auch traditionelle Compression-Molding-Prozesse von Gummi zu simulieren. Die Simulation erlaubt nach Angaben des Unternehmens eine sichere Ermittlung von Vernetzungsgrad und Zyklusdaten. Fragestellungen zu beispielsweise Anzahl, Gestalt, Gewicht und Position der verwendeten Rohlinge können ebenfalls untersucht werden. Hierdurch kann die Qualität der Formteile optimiert und der Materialeinsatz gesenkt werden, ohne aufwändige und teure Versuchsreihen. Anders als bei Thermoplasten gibt es bei den Elastomeren nur wenige standardisierte Compounds in der Industrie. Sigmasoft ermöglicht daher die Erstellung von eigenen Materialien auf Basis interner oder externer Messungen und unterstützt seine Kunden bei der Erstellung. Laut Sigma verbleiben mit diesem Ansatz simulativ kaum Unterschiede zwischen Transfer Molding und Compression Molding. Technisch wird der Anguss durch die Zwischenplatte ein Bestandteil der Kavität. In der Validierung wurden daher auch Transfer-Molding-Werkzeuge erfolgreich berechnet. Sigmasoft v5.3.1 umfasst nicht nur die Möglichkeit,

erstmalig Compression Molding für Elastomere zu simulieren, sondern bietet insbesondere im Bereich Thermoplaste zahlreiche Neuerungen und Verbesserungen bei der genauen Vorhersage von Schwindung und Verzug. Die von der Software durchführbare Autonome Optimierung kann jetzt auch 2K-Teile verarbeiten. Die Materialdatenbank wurde ebenfalls erweitert.

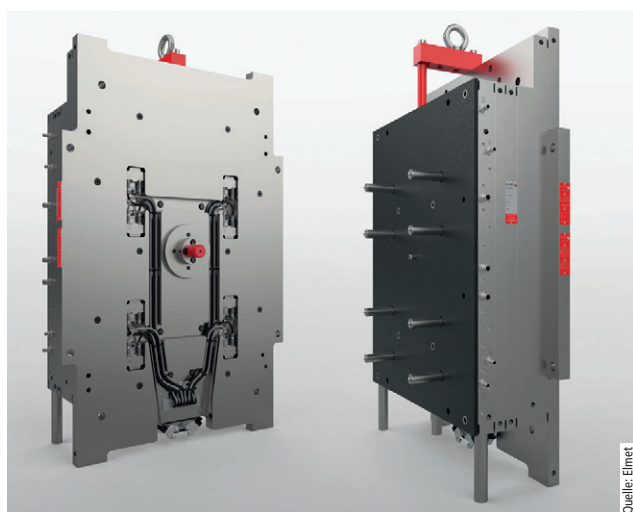
Das Data Analytics-Unternehmen **Altair** zeigte neben seiner konstruktionsnahen Simulation für die Bauteil- und Werkzeugentwicklung das Altair Material Data Center sowie Lösungen aus seinem KI-Portfolio. Die nahezu unendliche Materialvielfalt und Materialkombinationen z. B. bei thermoplastischen Kunststoffen, macht es unmöglich, alle Rezepturvarianten zu testen und dabei noch äußere Einflüsse wie Alterung, chemische Reaktion oder Bestrahlung auf den Werkstoff zu berücksichtigen. KI ermöglicht es, bessere Vorhersagen aus gemessenen und simulierten Daten zu treffen und hilft so beim Abgleich von Simulations- und Testdaten. Altair hat verschiedene Datenautomatisierung und KI-Lösungsan-



Sigma Engineering: 25 Kavitäten und 9 Rohlinge im Compression-Molding-Verfahren



Wittmann Battenfeld: Stützring mit Siliconmembran



Elmet: Der vollelektrische Kaltkanal Smartshot E ermöglicht den LSR-Spritzguss in Mehrfachwerkzeugen mit bis zu 16 Kavitäten.

sätze entwickelt, die den Zugang zu entsprechenden Daten erleichtern. Nach Angaben des Unternehmens können Anwender vorhandene Tests, die auf anderen Maschinen, in anderen Labors, in anderen Regio-

nen durchgeführt wurden, finden und ein bestehendes Material Data Center, das für die Speicherung von und den Zugriff auf Materialdaten optimiert ist, über Browser/API nutzen. Das Verhalten neuer Materia-

lien, für die es keine vorherigen Tests gibt, kann so vorhergesagt werden.

Die **Brabender GmbH & Co. KG** aus Duisburg stellte mit der MetaStation 4E ihr neues, auf einen Standardlabortisch passendes Drehmomentrheometer nebst einem angeschlossenen Messkneter vom Typ W50 EHT vor. Der modulare Antrieb für verschiedene Messkneter- und Extrudervorsätze ist der Nachfolger des seit Jahrzehnten in Industrie und Forschung etablierten Brabender Plastograph. Zur Produktfamilie „MetaStation“ gehören auch die neuen universellen stationären Antriebe als Nachfolger der Plasticorder Lab-Station. Aus dem Bereich „Spezifische Messaufgaben“ stellte Brabender unter anderem das TSSR-Meter aus. Damit können sowohl herkömmliche isotherme Relaxationsmessungen durchgeführt werden, als auch die Temperature Scanning Stress Relaxation, kurz TSSR, eine anisotherme Spannungsrelaxations-Messmethode (AISR-Methode). Termine im Anwendungslabor von Brabender in Duisburg konnten direkt am Stand vereinbart werden. Dort bietet das Unternehmen sowohl Geräteschulungen, als auch die Möglichkeit Versuche mit eigenem Probenmaterial durchzuführen. Im Rahmen von Forschungsprojekten unterstützten die Anwendungsexperten zudem bei der Produkt-, Rezeptur-, Methoden- oder Prozessentwicklung. Neben dem Besuch des Labors vor Ort bietet Brabender alternativ einen digitalen Laborbesuch an. Mit Hilfe mehrerer Kameras können so z. B. Extruder- oder Messkneterversuche aus verschiedenen Perspektiven verfolgt werden.

## Verarbeitung von LSR

Flüssigsilikonkautschuk (Liquid Silicone Rubber, LSR) ist ein Material, das unter den Kunststoffen eine Sonderstellung einnimmt. Da es sowohl im 3D-Druck als auch Spritzguss verarbeitet werden kann, eröffnen sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten. Mit dem LiQ 320 mit neuer Steuerung präsentierte der seit 2020 zu Arburg gehörende 3D-Drucker-Hersteller **Innovatiq** ein für das im Unternehmen entwickeltes Gerät für das Liquid Additive Manufacturing (LAM), das den Druck von Materialien wie LSR ermöglicht (s. S. 461).



**Wittmann Battenfeld** zeigte anhand der Herstellung eines Stützrings mit Siliconmembran die Verarbeitung von Flüssigsilicon zur Herstellung von Kleinstteilen. Bei dem im 2K-Verfahren hergestellten Mikrobauteil handelt es sich um einen Stützring, der in der industriellen Messtechnik zum Einsatz kommt. Die Bauteile wurden in einem 8-fach Werkzeug hergestellt, das in Zusammenarbeit mit der Firma Nexus gebaut wurde. Bei den eingesetzten Materialien handelte es sich um Polycarbonat (Makrolon) von **Covestro** und ein selbsthaftendes LSR (Silopren) von **Momentive**. Das Bauteil hat einen Durchmesser von rund 6 mm, eine Höhe von 1,8 mm und ein Gewicht von nur 23 mg. Die Membran selbst wiegt 120 µg bei einer Dicke von 20 µm. Produziert wurde das Bauteil auf der Mehrkomponentenmaschine MicroPower 15/10H/10H Combimould mit zwei horizontal angeordneten Spritzaggregaten und einem Drehteller. Das LSR wird über 11-Kartuschen zugeführt, die Materialflüsse werden von der Dosieranlage im Mikroliterbereich gemessen. Die gemessene Materialgüte wird dabei dokumentiert und der B8-Maschinensteuerung über OPC-UA-Schnittstelle (Euromap 82.3) bereitgestellt. Die LSR-Dosieranlage stammt von **Nexus** und ist mit einem neuen Servomix-Dosiersystem ebenfalls mit OPC-UA-Schnittstelle (Euromap 82.3) ausgestattet.

Mit dem Smartshot E-Kaltkanalsystem mit servomotorisch angetriebenen Düsennadeln ergänzt **Elmet** sein Smartshot Kaltkanal-Angebot für das Liquid Injection Molding (LIM). Es ist insbesondere für das Spritzgießen von Zweikomponenten-Flüssigsilikonkautschuken in Mehrkavitätenwerkzeugen geeignet. Beim Smartshot E übernehmen kompakte bürstenlose Gleichstrom-Servomotoren das Bewegen und Positionieren der Nadeln während des Öffnens und Schließens der Düsen. Dabei ermöglichen sie es, die jeweilige Nadelposition über das 18,5" Farbdisplay sehr schnell und gleichmäßig auf 0,002 mm genau einzustellen und jederzeit eine Rückmeldung über die momentane Position zu erhalten. Mit Öffnungs- und Schließzeiten im Hundertstel-Sekunden-Bereich lassen sich die Nadelbewegungen während des Einspritzvorgangs in bis zu 16 Kavitäten perfekt synchronisieren und präzise ausbalancieren. Die abwärmearmen, wenig Bauraum



erfordernden Servomotoren ermöglichen einen Nestabstand von minimal 44 mm für die Konstruktion von kompakten Werkzeugen. Der Anschluss erfolgt über verschleißarme Miniatur-Industriestecker. Für zusätzliche Erleichterung und Sicherheit sorgt das optimierte Kabelmanagement mit einem Kabelbaum, der nach dem Abstecken der Motoranschlüsse ohne den Einsatz von Elektrofachpersonal als Baugruppe ausgebaut werden kann. Zur Vorgabe des Füllverhaltens ist jede Düse einzeln kalibrierbar. Die Spitze der besonders langen Nadelführung ist ein Teil der formgebenden Kavitätskontur.

**Engel** zeigte ein Mikrospritzaggregat, das die Produktion von Präzisionsbauteilen aus Flüssigsilicon mit Schussgewichten von deut-

lich unter 0,1 g ermöglicht. Zum Einsatz kam eine vollelektrische und holmlose e-motion TL Spritzgießmaschine. Mit dem erstmals auf der Engel live e-xperience 2020 vorgestellten LSR-Mikrospritzaggregat hat das Unternehmen den Einsatzbereich seiner Spritzgießmaschinen für noch kleinere Schussgewichte erweitert. Dank Schnellkupplungssystem lässt sich das Aggregat in weniger als 30 min gegen ein herkömmliches Schnecken-spritzaggregat tauschen, um die Produktivzeit der Spritzgießmaschine maximal auszuschöpfen. Zielgruppe für die holmlose und vollelektrische e-motion TL Maschine in Kombination mit dem neuen Mikrospritzaggregat ist neben der Medizintechnik die Consumer-Electronics-Industrie, die unter anderem für Smartphones sehr kleine elektronische Prä-

zisionsbauteile und hochwertige Optikkomponenten produziert. Durch die Trends zur Elektromobilität und zum autonomen Fahren benötigt darüber hinaus der Automobilbau zukünftig eine größere Zahl an Mikroteilen aus LSR. Auch Mehrkomponentenprozesse lassen sich mit dem Mikrospritzaggregat realisieren, zum Beispiel um Dichtungselemente mit sehr kleinen Schussvolumina direkt an einen Grundkörper anzuspritzen.

Anhand einer vollelektrischen IntElect 130/520-450 mit OPC-UA-standardisiertem LSR-Paket sowie der ersten eigenen Roboter-Serienlösung präsentierte die **Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH** ihren neuesten Stand der Technik für den Elastomer-Spritzguss. Sowohl die Dosieranlage ServoMix Z200 der Nexus Elastomer Systems GmbH, Eberstallzell (Österreich), als auch die selbst entwickelte Automation namens SAM-C von Sumitomo (SHI) Demag wurden erstmals auf der Fachmesse dem weltweiten Fachpublikum vorgestellt. Auf dem Messe-Exponat wurde eine Axial/Freiformdichtung für den Automobilbereich hergestellt. Dazu kam ein 2-Platten-Werkzeug von Nexus zum Einsatz. Mit einem Rückhalter wird das Teil auf der Auswerferseite stabil gehalten. Dann wird es mit dem neuen SAM-C – einem Eigenprodukt von Sumitomo (SHI) Demag – herausgegriffen und abgelegt. Dabei wird mit einem Kaltkanal-Nadelverschluss-System und einer direkten Anspritzung gearbeitet. Das Werkzeugkonzept sieht Wechseleinsätze vor, was eine sehr hohe Produktflexibilität gewährleistet. Wichtiger Bestandteil dieser Produktionslösung ist die Dosieranlage ServoMix Z200 von Nexus. Das freitragende System erlaubt einen Fasswechsel innerhalb von rund fünf Minuten aus einem Winkel bis zu 104 Grad. Die Z200-Dosieranlagen verfügen über einen Schnellwechsel-Pumpenkörper und die Messzellen selbst befinden sich direkt auf dem Pumpenkörper. Eine neu freigegebene OPC-UA-Schnittstelle verlinkt die Messdaten der Dosieranlage mit denen der IntElect 130/520-450.

### Zusammenarbeit von Forschung und Industrie

Der Messestand der **Hochschule Darmstadt** bildete den Rahmen für die offizielle

Übergabe eines neuen Allrounders von Arburg an das Institut für Kunststofftechnik der HS Darmstadt: (v. l.): Bardo Palmberg (ikd), Thomas Knop (Arburg), Thomas Schröder (ikd) und Christoph Schumacher (Arburg).



Übergabe eines neuen Allrounders von **Arburg** an das **Institut für Kunststofftechnik (ikd)** der „Wissenschaftsstadt“. **Prof. Dr.-Ing. Thomas Schröder** und **Bardo Palmberg** nahmen seitens der Hochschule Darmstadt, **Dr. Christoph Schumacher**, Bereichsleiter Marketing, sowie Gebietsverkaufsleiter **Thomas Knop** von Arburg an der kleinen Zeremonie am 12. Oktober 2021 teil. Bei der neuen Maschine handelt es sich um einen hydraulischen Allrounder 370 S mit Multilift H Robotersystem zur Verarbeitung von Thermoplasten sowie von LSR und Duroplast. Auf der Fakuma wurden Topflappen aus LSR mit einem Werkzeug der Firma **Emde** hergestellt. Das Material stammte von Momentive. Des Weiteren liefen aktuelle Simulationen zu diesem Werkzeug, die zusammen mit **Sigmasoft** erstellt wurden. Im Werkzeug integriert arbeiten Infrarot-Temperatursensoren. Die Viskosität des LSR-Materials wird inline mit einer Rheometerdüse gemessen.

Das Institut für Kunststofftechnik hat diese Maschinenkonfiguration zu Lehr- und Forschungsaktivitäten angeschafft. Bei dem modularen Allrounder lassen sich die Spritzeinheit in verschiedene Arbeitsstellungen anordnen. Über OPC-UA-Schnittstellen ist der Anschluss eines externen Großbildschirms für die akademische Ausbildung

von Schülern und Studierenden ist möglich. Insgesamt sind aktuell vier Allrounder beim ikd im Einsatz. Thomas Schröder würdigte anlässlich der Übergabe die Kooperation, die zwischen Arburg und dem Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik an der Hochschule Darmstadt schon seit mehr als 50 Jahren und mit dem ikd seit über 20 Jahren besteht: „Durch Arburg haben wir schon immer große Unterstützung in Form der Bereitstellung von Maschinen und Peripherie erfahren. Gleiches gilt für die Zusammenarbeit in den Bereichen Know-how-Transfer sowie ‚Neue Technologien und Verfahren‘. Im Rahmen von Veranstaltungen wie etwa dem Kunststofftag und in der Lehre unterstützt uns Arburg darüber hinaus mit aktuellem Lehrmaterial und weiteren Beiträgen.“

Einmal mehr zeigt sich, wie wichtig nicht nur der Austausch entlang der Wertschöpfungskette, sondern auch zwischen Industrie und Forschung ist. Auf der Fakuma 2021 hatten auch zahlreiche Institute und Hochschulen die Gelegenheit, ihre Forschung zu präsentieren und mit den Unternehmen ins Gespräch zu kommen. Die nächste Fakuma soll vom 17.-21. Oktober 2023 wieder in Friedrichshafen stattfinden.

-CR-

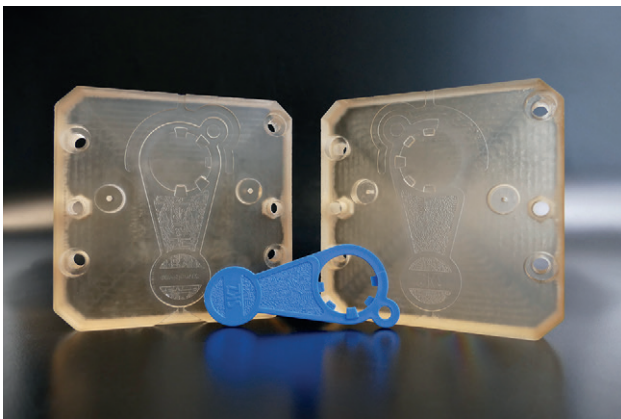


## 3D-Druck-Denkfabrik in Würzburg

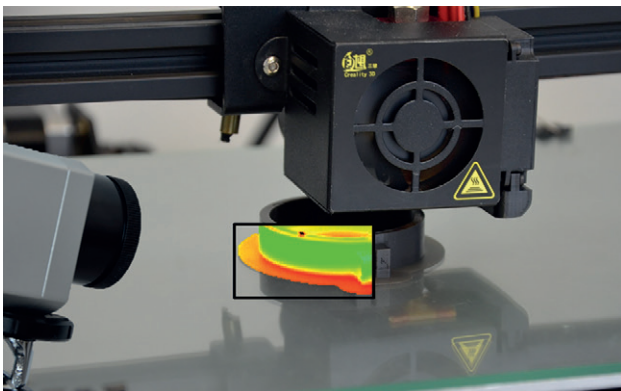
Ob in der Medizintechnik oder der Luftfahrtindustrie – die Möglichkeiten der Additiven Fertigung nehmen stetig zu. Am Kunststoff-Zentrum SKZ in Würzburg ist man sich der Wichtigkeit des 3D-Drucks schon lange bewusst. Bereits vor zehn Jahren wurde dort das CAP, das Center for Additive Production gegründet.

„Für uns war bereits im Jahr 2010 klar, welches Potenzial im 3D-Druck steckt und wie wichtig es in den kommenden Jahren sein wird, die Fertigungsprozesse und die zugehörigen Qualitätssicherungsmaßnahmen zur Serienreife weiterzuentwickeln“, sagt **Georg Schwalm**, Bereichsleiter für Additive Fertigung und Spritzgießen am Kunststoff-Zentrum SKZ in Würzburg. Mit einer Anschubförderung durch den Freistaat Bayern gelang im Jahr 2011 der Aufbau erster Drucktechnologien und fundierten Prozesswissens. Seit nunmehr zehn Jahren erweitert das SKZ seine Forschungs- und Ausbildungsangebote sowie seinen modernen Maschinenpark innerhalb des Kompetenzzentrums für die Additive Fertigung stetig.

Gedruckte Werkzeugeinsätze für das Thermoplast-Schaumspritzgießen.



Das neue Messsystem des SKZ überwacht und dokumentiert den Druckprozess mithilfe von Wärmebildkameras.



Dank verschiedener Forschungsprojekte konnte das CAP in den vergangenen Jahren wichtige Impulse setzen. Für die Medizintechnik wurden etwa individuell angepasste Kopforthesen oder Beckenmodelle für die prä-operative Planung entwickelt. Im Bereich der Luftfahrtindustrie wird gemeinsam mit der TU München ein Projekt zur adaptiven Anpassung von Flügelgeometrien für Segelflieger umgesetzt. Dazu gehören auch die entsprechenden CAx-Softwarelösungen (CAx: computergestützte Technologien in der Entwicklung und Konstruktion).

Im April 2021 hat das SKZ mit ADDfoam ein Forschungsvorhaben gestartet, das 3D-Druck und Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG) zusammenbringt. Durch die Kombination additiv gefertigter Werkzeugeinsätze mit dem Thermospritzgießen werden auf kosteneffiziente Art und Weise die Nachteile der jeweiligen Technologien ausgeglichen. Die geringere Wärmeleitfähigkeit gedruckter Formeneinsätze bedingt eine Verlängerung der Kühl- und somit Zykluszeit. Gleichzeitig reduziert die geringere Wärmeleitfähigkeit der Werkzeugoberfläche jedoch in erheblichem Maße die Ausbildung von Schlieren, da die gasbeladene Schmelze an der Grenzfläche langsamer erstarrt. Die Einsparung der Nachdruckphase beim Schäumen, die geringere Schmelzetemperatur der gasbeladenen Schmelze und die verringerte Masse des Bauteils führen so insgesamt zu einer signifikan-

ten Zykluszeitverkürzung. Die niedrigeren Werkzeuginnendrucke beim TSG-Verfahren reduzieren die zyklische Belastung für additiv gefertigte Werkzeuge erheblich, wodurch die Formen beständiger sind und länger eingesetzt werden können.

Im Projekt ADDfoam werden die Maßhaltigkeit und Reproduzierbarkeit sowie die Oberflächenbeschaffenheit in Abhängigkeit von verschiedenen Fertigungsparametern sowohl für die Werkzeugeinsätze als auch für die spritzgegossenen Leichtbauteile untersucht. Der Fokus liegt ebenfalls auf der Beständigkeit der gedruckten Kunstharzwerkzeuge und der Auswirkung ihrer Verwendung – auch in Kombination mit formnahen Kühlkanälen – auf die Mechanik und Optik geschäumter Bauteile. Interessierte Unternehmen sind herzlich eingeladen, im projektbegleitenden Ausschuss des Forschungsvorhabens kostenfrei mitzuwirken und sich über die aktuellen Ergebnisse zu informieren. ADDfoam (IGF-Nr: 21792 N) wird im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) der Forschungsvereinigung Kunststoff-Zentrum über die AiF vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Im Juni 2021 hat das SKZ außerdem ein kostengünstiges Messsystem vorgestellt, das Fehler bei der Produktion beim Fused Deposition Modeling (FDM), bei dem das Bauteil durch schichtweisen Auftrag von erhitzten Kunststofffilamenten hergestellt wird, frühzeitig erkennt. Das thermografische Prüfsystem nutzt Wärmebildkameras zur Fehlstellendetektion. Dabei werden typische und produktionsbedingte Fehlstellen wie eine fehlende Schichthaftung, Geometrieabweichungen und Poren erfasst. Das Ergebnis kann durchgehend live während des Bauteildrucks visualisiert werden.

[www.skz.de](http://www.skz.de)

-CR-

# Additive Fertigung von Dichtungen und Bauteilen aus originalen Weichmaterialien

*Designfreiheit, weniger Gewicht und Material, Individualität, hohe Effizienz: Für innovative Anwendungen z. B. in der Automobilindustrie oder den Leichtbau ist die additive Fertigung inzwischen unverzichtbar. Bereits 2013 hat Arburg das Verfahren des Kunststoff-Freiformens entwickelt und den ersten Freeformer vorgestellt. Anders als bei anderen Verfahren des Additive Manufacturing können hier dieselben Kunststoffgranulate verwendet werden, wie beim konventionellen Spritzgießen. So lassen sich auch sehr weiche Originalmaterialien verarbeiten und Hart-Weich-Verbindungen herstellen.*

Das Arburg Kunststoff-Freiformen (AKF) im Freeformer bietet Materialfreiheit und wird deshalb als „offenes System“ bezeichnet. Verarbeitet werden Kunststoffgranulate, wie sie auch beim Spritzgießen zum Einsatz kommen. Diese werden zunächst in einem beheizten Plastifizierzylinder aufgeschmolzen und anschließend über einen hochfrequent getakteten, starren Düsenverschluss tropfenweise ausgebracht. Der Bauteilträger im Freeformer ist über drei Achsen beweglich, sodass jeder einzelne Tropfen genau auf der zuvor berechneten Stelle abgelegt werden kann. Die Tropfen verbinden sich dabei mit dem bereits umliegenden Material, sodass Schicht für Schicht dreidimensionale Bauteile entstehen können. Mit Hilfe

von Stützmaterial, das nach dem Freiformen ausgewaschen wird, lassen sich auch Hinterschnitte und komplexe Geometrien erzielen. Außerdem ist es bei der Verarbeitung von TPE oder TPU möglich, die Shore-Härte zu variieren. Im Gegensatz zu anderen additiven Fertigungsverfahren lassen sich im AKF-Verfahren auch sehr weiche Originalmaterialien verarbeiten.

Mit dem Freeformer 300-3X, der über drei Austragseinheiten verfügt, lassen sich aus qualifizierten Standardkunststoffen und Stützmaterial additiv komplexe und belastbare Funktionsbauteile aus Originalmaterial in Hart-Weich-Verbindung fertigen (Abb. 1). Das ist besonders für Anwender interessant,

die funktionsfähige Prototypen aus exakt dem gleichen Material wie in der Endprodukt-Großserie herstellen und testen wollen. Produktbeispiele sind haptisch optimierte Zahnbürstengriffe, Rasierer und ergonomische Handgriffe von Elektrowerkzeugen.

Alle Freeformer sind mit einigen kleineren Anpassungen für den Einsatz im Reinraum geeignet. Sie arbeiten emissionsarm und staubfrei und ihr Bauraum ist generell in Edelstahl ausgeführt. Eine optionale Robot-Schnittstelle ermöglicht eine Automatisierung der additiven Fertigung und die Integration des Freeformers in IT-vernetzte Fertigungslinien. Die Prozessqualität lässt sich zuverlässig dokumentieren und die Bauteile sind bei Bedarf eindeutig rückverfolgbar.

**Abb. 1:** Der Freeformer 300-3X verfügt über drei Austragseinheiten. Damit lassen sich z. B. komplexe und belastbare Funktionsbauteile aus TPE und in Hart-Weich-Verbindung herstellen.



## Prototypen für die Automobilindustrie

Voll funktionsfähige Prototypen aus weichen thermoplastischen Elastomeren sind vor allem in der Automobilindustrie sehr gefragt. Namhafte OEMs und Zulieferer setzen bei der Entwicklung neuer Produkte auf das AKF-Verfahren. Aufgrund seiner charakteristischen schwarzen Farbe, Dichtigkeit und Belastbarkeit auch im Dauereinsatz ist das TPU Desmopan 9370 AU (Härte 70 Shore A) besonders interessant (Abb. 2). Das Material ist so flexibel wie Gummi, so gut zu verarbeiten wie ein Thermoplast und zudem unempfindlich gegenüber Wärme und Chemikalien. Aus diesem Material hat die Firma Daimler bereits elastische Verbindungsschläuche gefertigt und z. B. im Kühlsystem eines Prototypenfahrzeugs eingesetzt. Ebenfalls für den Automotive-Bereich fertigt die Firma GTG



Gummetechnik Türdichtungen aus TPE. Ein additiv gefertigtes Musterteil für die C-Säule hat gezeigt, wie sich die Entwicklungszeit vom CAD-Modell zum fertigen Funktionsmuster mit dem AKF-Verfahren deutlich beschleunigen lässt. Aus ABS und elastischem TPE lassen sich mit Hilfe von Stützmaterial z. B. harte Gehäusedeckel mit weicher Dichtlippe fertigen (**Abb. 3**).

### Bauteildichte und mechanische Eigenschaften veränderbar

Im AKF-Verfahren lassen sich über die Maschinenparameter auch die Größe sowie der Abstand der Tropfen zueinander – und damit die Dichte und der Füllgrad – gezielt beeinflussen. Um eine hohe mechanische Festigkeit zu erreichen, beträgt der Füllgrad eines Bauteils im Idealfall 100 %. Durch eine Änderung des sogenannten Formfaktors, also des Verhältnisses von Tropfenbreite zu Höhe (B/H), kann bei gleichbleibenden Parametern der Füllgrad eines Bauteils verändert werden. Mit dem Freeformer ist es auch möglich, über die Slicing-Parameter den Füllgrad eines Bauteils zu variieren und seine mechanischen Eigenschaften gezielt zu verändern. Auch innerhalb eines Bauteils lassen sich so verschiedene Materialdichten realisieren.

Dies wurde am Beispiel eines Testkörpers mit Wabenstrukturen aus TPE Medalist MD 12130H gezeigt (**Abb. 4**). Diese Anwendung ist z. B. für den Leichtbau oder für Filterelemente interessant. Schuhsohlen können auf diese Weise aus nur einem Material gefertigt und dennoch individuell auf die Fersen der Person angepasst werden (**Abb. 5**). Geeignet dafür ist z. B. das thermoplastische Polyester-Elastomer Hytrel (Härte 40 Shore D) von Dupont. In Bezug auf mechanische Belastbarkeit, Rückstellverhalten und Dauerbelastung hat das additiv gefertigte Bauteil nahezu die gleichen Eigenschaften wie ein Spritzteil.

[www.arburg.com](http://www.arburg.com)

[www.gak.de](http://www.gak.de)

**Abb. 2:** Im AKF-Verfahren wurde aus TPU Desmopan 9370 AU (Härte 70 Shore A) der Prototyp eines Verbindungsschlauchs für Pkw-Kühlsysteme gefertigt.



Quelle: Arburg

**Abb. 3:** Harter Gehäusedeckel mit weicher Dichtlippe für die Automobilindustrie aus ABS und elastischem TPE.



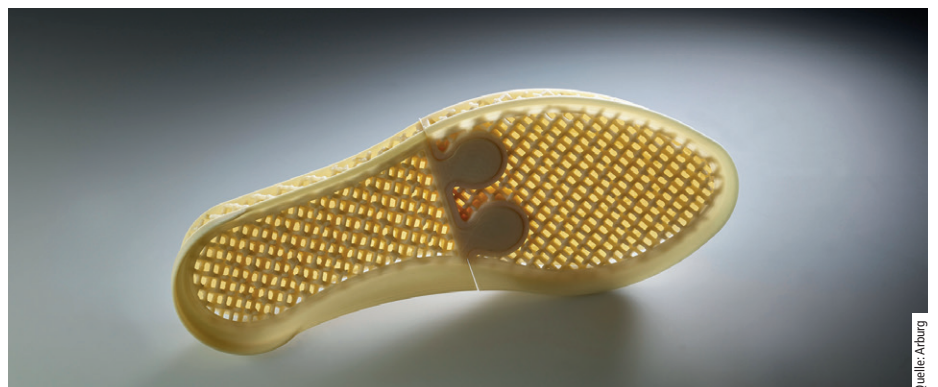
Quelle: Arburg

**Abb. 4:** Mit dem AKF-Verfahren kann man die Bauteildichte gezielt beeinflussen: flexible Wabenstrukturen aus TPE.



Quelle: Arburg

**Abb. 5:** Flexibel und dennoch fest: Ein thermoplastisches Polyester-Elastomer wurde mit Hilfe von Stützmaterial zu einer flexiblen, aus zwei Teilen zusammensetzbaren Schuhsohle verarbeitet.



Quelle: Arburg



## Oechsler: Serienproduktion von Fahrradsätteln im 3D-Druck

Die **Oechsler AG**, weltweit tätige Unternehmensgruppe der Kunststofftechnik mit Hauptsitz in Ansbach/Mittelfranken, fertigt für den amerikanischen Fahrradhersteller **Specialized** den High-End-Sattel „S-works Romin-Evo mit Mirror-Technologie“. Entwickelt wurde der additiv gefertigte Sattel gemeinsam von den drei Partnern **Carbon**, **Specialized** und **Oechsler**. Entwicklung, Überführung in die Serienfertigung im 3D-Druckverfahren und Markteinführung nahmen nur zehn Monate in Anspruch. Oechsler wird künftig die Entwicklung weiterer in 3D-Verfahren hergestellter Fahrradkomponenten für **Specialized** übernehmen. Das

Unternehmen setzt in seinem Additive Manufacturing-Maschinenpark mehrere alternative, kunststoffbasierte 3D-Drucktechnologien führender Anlagenhersteller ein und betreibt an seinen zwei Standorten in Ansbach/Brodswinden (EU) und Taicang (China) eine der weltweit größten 3D-Druckerflotten in Serie.

[www.oechsler.com](http://www.oechsler.com)  
[www.carbon3d.com](http://www.carbon3d.com)  
[www.specialized.com](http://www.specialized.com)

Der Sattel „S-works Romin-Evo“ des Fahrradherstellers **Specialized** wird im 3D-Druck produziert.



Quelle: Oechsler

## IKT Stuttgart: 3D-Druck-Filamente aus Thermoformabfällen

In einem durch die **Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)** öffentlich geförderten Projekt erforschen das **Institut für Kunststofftechnik (IKT)** und das **Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart** gemeinsam mit der **Firma SE Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG (SE-K)** ein innovatives Ver-

fahrenskonzept, das die Weiterverarbeitung von Verschnittresten aus dem Thermoformen ermöglicht. Das Projekt „UpFilt“ nutzt Schnittreste aus dem Thermoformen für die Fertigung höherwertiger Produkte (Up-cycling). Aus den Verschnittresten wird ein hochwertiges Kunststoff-Filament gewonnen, das in einem neuartigen Verfahren der Additiven Fertigung direkt für das Hinterdrü-

cken des thermogeformten Bauteils eingesetzt wird. Der Demonstratorprozess wird auf den Flächen des Forschungscampus **ARENA 2036** realisiert.

[www.ikt.uni-stuttgart.de](http://www.ikt.uni-stuttgart.de)  
[www.isw.uni-stuttgart.de](http://www.isw.uni-stuttgart.de)  
[www.se-k.de](http://www.se-k.de)  
[www.arena2036.de](http://www.arena2036.de)

## Arkema: Investition in Erpro 3D Factory

**Arkema** erwirbt einen Anteil von 10 % an der **Erpro 3D Factory (E3DF)**, um die Entwicklung neuer Anwendungen für seine Hochleistungspolymere zu beschleunigen. E3DF ist ein 2017 gegründetes französisches Unternehmen, das sich auf die additive Großserienfertigung spezialisiert hat. Arkema ist 2018 eine enge Partnerschaft mit E3DF eingegangen, um Projekte in den Bereichen Kosmetik, Medizin, Automobil und Brillen zu entwickeln, bei denen die biobasierten und recycelbaren Spezialpolyamide sowie die flüssigen UV-härtenden Harze von **N3xtDimension** zum Einsatz kommen. Mit dieser Investition von 10 % in E3DF wird Arkema Mitglied des strategischen Ausschusses

des Unternehmens und stärkt damit die bestehende Partnerschaft.

[www.arkema.com](http://www.arkema.com)  
[www.erpro-group.com](http://www.erpro-group.com)

E3DF ist ein 2017 gegründetes französisches Unternehmen, das sich auf die additive Großserienfertigung spezialisiert hat.



Quelle: E3DF

## Hexagon/Authentise: Erste offene End-To-End-Softwarelösung für die additive Fertigung

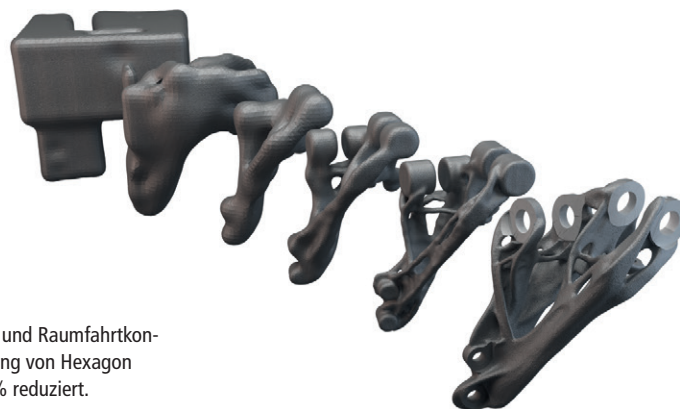
Der Geschäftsbereich Manufacturing Intelligence von **Hexagon** und **Authentise** arbeiten zusammen an einer offenen End-To-End-Softwarelösung, die Fertigungsdaten mit intelligenter Datennutzung verknüpft. Im Rahmen ihrer Partnerschaft entwickeln die beiden Unternehmen Lösungen für den industriellen Einsatz der AM-Technologie, mit deren Hilfe sich alle Schritte des Arbeitsablaufs von der Bauteilkonstruktion über die Produktion bis hin zu Endprodukt und Qualitätssicherung digitalisieren lassen. Dabei nutzen sie ihre Technologien, um den digitalen Faden eines Bauteils zu verknüpfen und seinen Ursprung zurückzuverfolgen. Möglich wird dies durch das gemeinsame Engagement für offene Architekturen, die sowohl Daten der AM-Anwendungen von Hexagon und den von Herstellern gewählten Drittan-

bieter-Geräten und -Softwarepaketen integrieren, als auch Arbeitsabläufe automatisieren. Das von Authentise entwickelte offene und auf die speziellen Bedürfnisse der additiven Fertigungsverfahren abgestimmte Manufacturing Execution System (MES) macht

das Unternehmen zu einem Schlüsselpartner in Hexagons offenem AM-Ökosystem.

[www.authentise.com](http://www.authentise.com)

[www.hexagon.com](http://www.hexagon.com)



Das Gewicht einer Luft- und Raumfahrtkonsole wurde mit der Lösung von Hexagon und Authentise um 63 % reduziert.

Quelle: Hexagon

## Innovatiq: 3D-Druck direkt aus flüssigem Silicon

Der 3D-Drucker-Hersteller **Innovatiq** aus München-Feldkirchen, seit Februar 2020 Mitglied der **Arburg**-Familie, entwickelt und fertigt seit seiner Gründung im Jahr 2010 3D-Systeme. Das im Unternehmen entwickelte Liquid Additive Manufacturing (LAM) ermöglicht den Druck von Materialien wie Liquid Silicone Rubber (LSR). Besondere Anwendung findet der 3D-Druck mit Flüssigsilicon in Bereichen wie der Orthopädie. Hier lassen sich etwa individuell angepasste Schuheinlagen drucken oder bestimmte Körperteile durch 3D-gedruckte Silicon-Protetoren sehr ergonomisch schützen. Ein weiteres Einsatzgebiet eröffnet sich z. B. auch für Dichtungshersteller, um Innovationszyklen für Silicon-Dichtungen deutlich zu reduzieren oder Kleinserien zu fertigen.

Mit dem LiQ 320 mit neuer Steuerung prä-sentiertere Innovatiq auf der Fakuma 2021 ein Gerät aus diesem Segment. Kreuz-, Gitter- oder Wabenstrukturen, also Geometrien, die mit herkömmlichen Fertigungstechnologien nicht umzusetzen sind, können mit dem LiQ 320 problemlos aufgebaut werden. Das

LAM-Verfahren ermöglicht es, die Auftragsrichtung und damit auch die Vernetzung des Materials bis hinunter zur Molekülebene gezielt zu beeinflussen. Die neue Druckkopf-Technologie sorgt für eine präzise Dosierung sowie ein gleichbleibend ideales Mischverhältnis. Die thermische Vernetzung erfolgt über eine Hochtemperatur-Halogenlampe, die das Bauteil in einer individuell einstellbaren Geschwindigkeit abfährt.

Mit der intuitiven „Mensch-Maschine-Schnittstelle“ (HMI) der neuen Industrie-Steuerung wird ein noch schnellerer Zugriff auf alle für den Druckauftrag wesentlichen Parameter möglich. Das im Lieferumfang enthaltene Software-Paket enthält alle nötigen Features, um Bauteile in Industrie-Qualität herstellen zu können. Die Parametereinstellungen lassen sich an die individuelle Geometrie der Teile anpassen. Ebenso können verschiedene Bereiche eines Bauteils speziell definiert und mit unterschiedlichen Parametern gedruckt werden.

[www.innovatiq.com](http://www.innovatiq.com)

Individuell angepasster, 3D-gedruckter Silicon-Protetektor. Durch das LAM-Verfahren kann die Steifigkeit innerhalb des Bauteils variiert werden.



Quelle: Innovatiq

# Siliconelastomer für optische Anwendungen

Die Anforderungen an Materialien, die mit Lichtfunktionen zu tun haben, werden immer vielfältiger. Hier werden transparente Materialien mit hoher UV- und Wärmebeständigkeit, guten physikalischen Eigenschaften und erstklassiger Verarbeitbarkeit benötigt. Optische Siliconelastomere zeichnen sich unter anderem durch eine hervorragende Verarbeitbarkeit auch in komplexen Geometrien, eine inhärente UV-Stabilität, niedrige Glasübergangstemperatur und hohe Temperaturstabilität aus. Des Weiteren sind sie schwer brennbar.

Herkömmliche Materialien, die für optische Linsen oder Lichtleiter verwendet werden, wie Polymethylmethacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC) und Glas, haben entweder einen eingeschränkten Gebrauchstemperaturbereich und sind UV-empfindlich (Thermoplaste) oder kommen hinsichtlich komplexer Geometrien an ihre Grenzen der Herstellbarkeit (Glas). Die Fähigkeit, eine gleichbleibend hohe Transmission und Klarheit aufrechtzuerhalten, ist entscheidend für die langfristige Leistungsfähigkeit optischer Materialien.

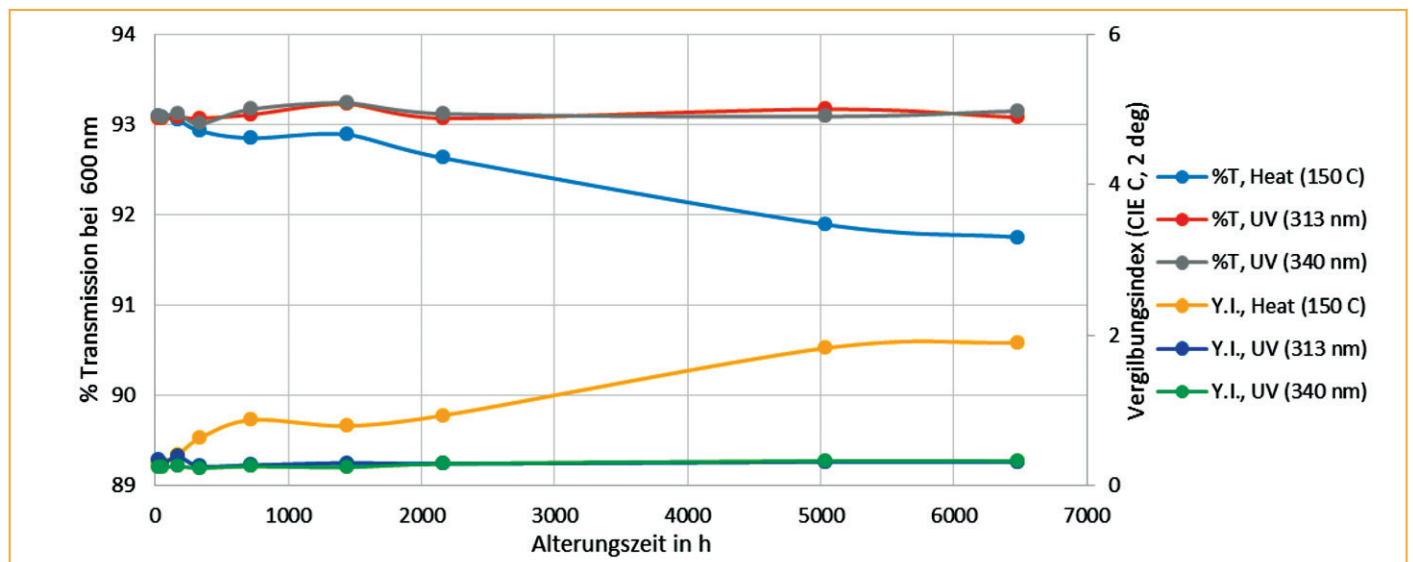
Silicone haben im Vergleich zu kohlenstoffbasierten Polymeren eine polarere Struktur, die auf den eher ionischen Charakter der Si-O-Bindung zurückzuführen ist. Das liegt daran, dass die Elektronegativitätsdifferenz zwischen Silizium und Sauerstoff größer ist, als die zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff. Dies führt zu einer besseren Temperatur- und UV-Beständigkeit als bei den traditionell in diesen Anwendungen verwendeten organischen Materialien, wie etwa Thermoplasten. Die



se Temperatur- und UV-Beständigkeit ist entscheidend für viele Applikationen, da die Betriebstemperaturen in den neuesten LED-Technologien weiter steigen und eine UV-Beständigkeit während einer langen Nutzungsdauer erwartet wird. CHT hat für solche Anwendungen das optische und spritzgießfähige Silicon SiSo Clear 21002 entwickelt. Die Veränderungen der Eigenschaften bei Alterung durch UV-Bestrahlung bei 313 nm und 340 nm über 6480 h und thermische Alterung bei 150 °C sind in **Abbildung 1** gezeigt.

SiSo Clear 21002 wird als 2-komponentiges, platinvernetzendes (additionsvernetzendes) Siliconelastomer mit mittlerer Viskosität geliefert, das im Verhältnis 1:1 nach Gewicht oder Volumen gemischt wird. Das Material wird in der Regel auf konventionellen Silicon-Spritzgießmaschinen verarbeitet. Nach dem Mischen der beiden Komponenten beginnt der Vernetzungsprozess, der für kürzere Verarbeitungszeiten durch Wärme beschleunigt werden kann. Der optimale Verarbeitungstemperaturbereich liegt bei Werkzeugtemperaturen zwischen 150 °C und

Abb. 1: Spritzgießfähiges Silicon SiSo Clear 21002 nach 6480 h UV-Belichtung bei 313 nm und 340 nm sowie thermischer Alterung bei 150 °C



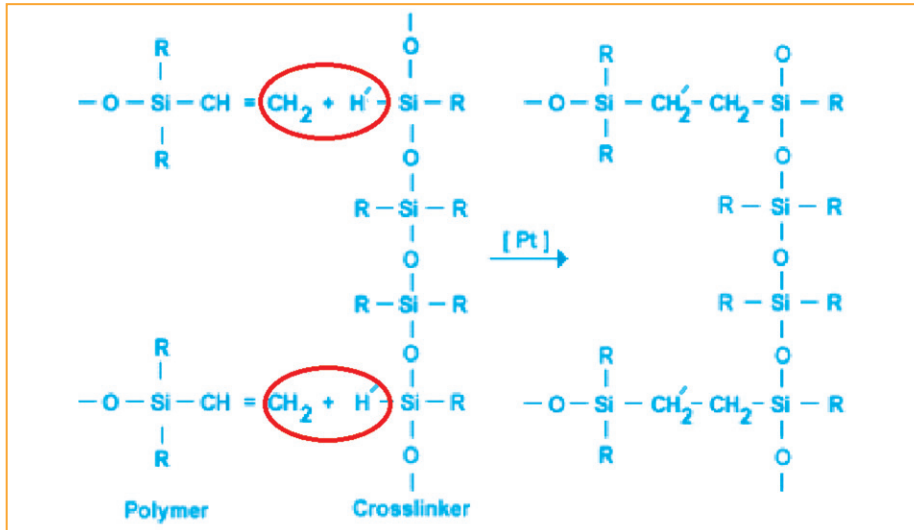


170 °C. Für ein Musterbauteil mit Abmessungen von 3 x 12 x 125 mm kann eine Zykluszeit von weniger als 60 s erreicht werden. Der Mechanismus der Vernetzung, die platin-katalysierte Additionsreaktion zwischen der Si-H-Gruppe und der Si-Vinyl-Gruppe, ist in **Abbildung 2** gezeigt.

Silicone haben in der Regel einen Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) von 200-350 ppm/K, der von der Zusammensetzung abhängt. SilSo Clear 21002 hat einen WAK von 275 ppm/K. Dies muss bei der Konstruktion einer Form für Teile mit kritischen Abmessungen berücksichtigt werden.

Zusätzlich zu den stabilen optischen Eigenschaften weist das ausgehärtete Silicon eine hohe Härte, gute Reißfestigkeit und gute Abriebfestigkeit auf. **Tabelle 1** fasst die physikalischen Eigenschaften von SilSo Clear 21002 zusammen. Während der Entwicklung wurde festgestellt, dass der Weiterreißwiderstand und die hohe Härte entscheidend für die Verarbeitung und Bauteileigenschaften sind. Siliconelastomere weisen typischerweise eine Abnahme der Reißfestigkeit bei steigender Temperatur auf. Durch die Verwendung eines hohen Prozentsatzes an modifizierten Polymeren bei der Herstellung von SilSo Clear 21002 konnte die Abnahme der Weiterreißwerte bei typischen Formtemperaturen von 150 °C bis 170 °C im Vergleich zu herkömmlichen Siliconelastomeren minimiert werden. Gute Heißreißwerte ermöglichen einen einfacheren Entformungsprozess und führen zu kürzeren Spritzgießzykluszeiten.

**Abb. 2:** Mechanismus der platin-katalysierten Additionsvernetzung zum Siliconelastomer



**Tab. 1:** Physikalische Eigenschaften des optischen Siliconmaterials

Eigenschaft	Wert
Härte (ASTM D-2204)	67, Shore A
Zugfestigkeit (ASTM D-612)	9,31 N/mm <sup>2</sup>
Bruchdehnung (ASTM D-612)	110 %
Weiterreißwiderstand (ASTM D-624)	15,76 N/mm
Linearer Schrumpf	< 0.1 %

**Kontakt:**

Sabine Mai  
Sales Manager Silicone Elastomers  
sabine.mai@cht.com

CHT Germany GmbH, Tübingen  
www.cht.com

## Vorschau: Silicone Elastomers World Summit 2021

29.-30.11.2021 in Berlin

Der TPE- und Silicone Elastomers World Summit 2021 findet am 29. und 30. November 2021 als Präsenzveranstaltung statt. Veranstalter Smithers bringt in Berlin Hersteller, Verarbeiter, Endverbraucher, Designer und Wissenschaftler zu einem internationalen Gipfeltreffen zum Thema Silicon- und TPE-Elastomermaterialien zusammen. An zwei Tagen werden Vertreter aus industrieller und akademischer Forschung mit Anwendern und Verarbeitern

neue Materialien, Produktions- und Verarbeitungstechnologien und Anwendungen diskutieren.

Die Themen der Sessions des Silicone Elastomer Summits sind:

- The shape of things to come – market outlooks
- Innovations in silicone elastomer technology
- Processing updates in HCR and LSR

- Advancement in materials and technology
- New opportunities for silicone elastomers applications

Den Keynote-Vortrag mit dem Thema „Trends and new requirements for silicone elastomers in mobility and transportation“ wird Patrick Beyer von der Dow Silicones Deutschland GmbH halten. In der gleichen Session wird Marco Jesus von Momentive über die Bedeutung von Siliconelastomeren in der Biopharma-Branche sprechen.

[www.elastomer-forum.com](http://www.elastomer-forum.com)

# Graphen-Nanoröhrchen ermöglichen Nutzung von Touchscreens mit Handprothesen

Wissenschaftlern des russischen Unternehmens Motorica ist es gelungen funktionelle Handprothesen herzustellen, die mit Touchscreens interagieren können. Dabei kommen Fingerkuppen zum Einsatz, die aus elektrisch leitfähigem Silicon mit Graphen-Nanoröhrchen hergestellt wurden.

Weltweit leben heute mehr als 1,5 Mio. Menschen ohne Hände. Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO – World Health Organization) erhält weltweit nur einer von zehn Menschen ohne Hände die erforderlichen Prothesen, und in den Entwicklungsländern sind es sogar nur 5 % aller Bedürftigen. „Eine Prothese sollte kein teures Medizinprodukt sein, das in kleinem

Maßstab hergestellt wird, sondern vielmehr ein erschwingliches, tragbares elektronisches Gerät wie eine Smartwatch oder ein Smartphone. Wir stellen nicht nur die Funktionalität der Hand wieder her, sondern erweitern sie“, sagte **Vasiliy Khlebnikov**, Mitbegründer und Chief Development Officer bei Motorica, einem russischen Entwickler und Hersteller von bionischen Hand- und Armprothesen.

Die Fingerkuppen der Handprothese sind aus elektrisch leitfähigem Silicon hergestellt.



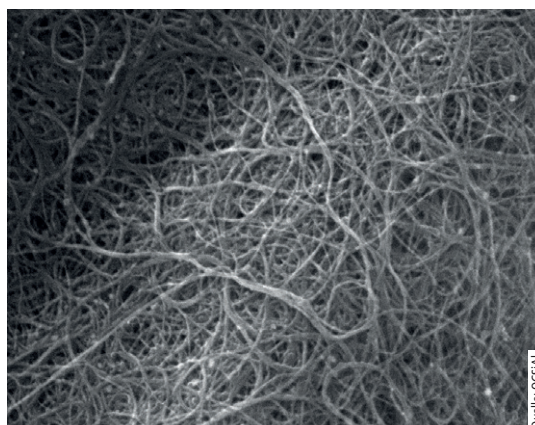
Quelle: OCSiAI

Graphen-Nanoröhrchen machen das Silicon der Fingerlinge elektrisch leitfähig, sodass mit der Handprothese auch ein Touchscreen bedient werden kann.

Graphen-Nanoröhrchen ähneln in ihrer Form einem langen menschlichen Haar, sind jedoch deutlich dünner.



Quelle: OCSiAI



Quelle: OCSiAI

Zu den Produkten des Unternehmens gehört eine Handprothese, mit der man Touchscreens bedienen kann. Ermöglicht wird diese Funktion durch Fingerkuppen aus elektrisch leitfähigem Silicon, das OCSiAI's Tuball-Graphen-Nanoröhrchen enthält, die elektrische Ströme aus dem menschlichen Körper übertragen können. Die Fingerkuppen kommen in ihrer Basiskonfiguration bei bionischen und Eigenkraftprothesen zum Einsatz. Die Technologie sei für alle Arten moderner Touchscreen-Displays geeignet, so der Hersteller.

„Für bionische Prothesen sind heute anspruchsvollere und teurere Technologien auf dem Markt, bei denen elektrischer Strom mit Hilfe interner elektronischer Schaltkreise erzeugt und an einen Fingerling geschickt wird. Wir verwenden elektrisch leitfähiges Silicon, das dieses Problem ohne eine zusätzliche Stromquelle löst. Auf Kundenwunsch können wir einen Fingerling mit Touchscreen-Funktion für alle Finger der Prothese herstellen, wobei der Zeigefinger oder der kleine Finger in der Regel ausreicht“, sagte **Ilya Chekh**, Mitbegründer und Generaldirektor von Motorica.

OCSiAI ist der größte Hersteller von Graphen-Nanoröhrchen. Die Kapazität des Unternehmens stellt 97 % der weltweiten Produktionskapazitäten für diesen Werkstoff dar. Die flexiblen und ultrastarken Graphen-Nanoröhrchen ähneln in ihrer Form einem

langen menschlichen Haar, sind jedoch 50.000 Mal dünner als ein Haar. Aufgrund dieser einzigartigen Morphologie und Eigenschaften verleihen Graphen-Nanoröhrchen den Materialien eine neue Kombination von Eigenschaften. Neben Siliconen werden sie in Dutzenden anderen Polymeren und elektrochemischer Stromquellen eingesetzt.

[www.ocsiai.com](http://www.ocsiai.com)  
[global.motorica.org](http://global.motorica.org)



# Vom SKZ-Technologietag 2021

## Abwechslungsreiches Programm mit interessanten Fachvorträgen und Technika-Führungen

Nach der pandemiebedingten Pause konnte der dritte Technologietag des Kunststoff-Zentrums SKZ in Würzburg am 23. September 2021 nun stattfinden. Neben diversen Fachvorträgen erwartete die Gäste auch eine abwechslungsreiche Industrierausstellung.

„Ich freue mich sehr, Sie heute alle am SKZ begrüßen zu dürfen,“ richtete SKZ-Geschäftsführer **Dr. Thomas Hochrein** das Wort an die rund 300 Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die zum dritten Technologietag des SKZ erschienen waren. „Erstmals seit Beginn der Pandemie bringen wir mit dem Technologietag wieder richtig Leben ins SKZ“, so Hochrein. Zwar könne das SKZ auf einen erfolgreichen Veranstaltungssommer zurückblicken. Doch keine der Veranstaltungen habe in den Räumlichkeiten des SKZ stattgefunden. Sein besonderer Dank gelte allen Sponsoren. „Gerade in diesen herausfordernden und nicht planbaren Zeiten ist eine solche Unterstützung nicht selbstverständlich.“ Was alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am SKZ eine, sei die Leidenschaft für Kunststoff: „Wir alle sind überzeugt, dass Kunststoffe einen elementaren Baustein für die Herausforderungen des Lebens darstel-

len. Kunststoffe sind ein Teil der Lösung – und dieses Wissen treibt uns als SKZ an“, so Hochrein.

### Insgesamt 33 Fachvorträge

Anschließend hatte man die Möglichkeit, an drei parallelen Sessions mit insgesamt 33 Fachvorträgen teilzunehmen: In Session 1 informierte **Johannes Rudloff**, stellvertretender Bereichsleiter Materialentwicklung, über das Thema Compoundieren und Extrudieren. **Georg Schwalme**, Bereichsleiter Spritzgießen und Additive Fertigung, referierte in Session 2 über Spritzgießen. In Session 3 standen die Themen Fügen, Additive Fertigung und Messtechnik im Vordergrund – die Moderation übernahm **Benjamin Baudrit**, Bereichsleiter Produkte und Prozesse.

### Führungen durch die Technika des SKZ

Parallel zum Vortragsprogramm fanden ganztägig Führungen durch die SKZ-Technika statt: Ob Additive Fertigung, Spritzgießen, Compoundieren und Extrusion, Fügen oder Mess- und Prüftechnik – an sieben Stationen informierten die SKZ-Expertinnen und Experten nicht nur über ihre jeweiligen Bereiche, sondern gaben zudem Live-Vorführungen an den Maschinen. Ein weiteres Highlight stellte die Industrierausstellung mit insgesamt 24 Ausstellern dar. Zudem gab es im Outdoor-Bereich viel Zeit für persönliche Gespräche und zum Netzwerken.

Ursprünglich hätte der Technologietag im Sommer stattfinden sollen. Aufgrund der Pandemie wurde die SKZ-Hausmesse dann jedoch um ein weiteres Mal auf September verschoben. Der Qualität der Veranstaltung tat dies keinen Abbruch. „Die Technologietag war ein voller Erfolg – trotz der kurzen Vorlaufzeit haben wir ein super Programm auf die Beine gestellt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zeigten sich begeistert. Dafür möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des SKZ ganz herzlich bedanken. Das war wirklich eine tolle Teamleistung“, sagte **Bettina Dempewolf**, Bereichsleiterin Netzwerk und Event am SKZ. „Für uns alle war es eine große Freude, hier am SKZ auf alte Kontakte zu treffen und neue zu knüpfen. Das hat während der Lockdowns doch sehr gefehlt.“

[www.skz.de](http://www.skz.de)

Live-Vorführungen an den Maschinen und eine Industrierausstellung sorgten für ein gelungenes Rahmenprogramm.



# Neuer Temperaturfühler für Innenmischer ermöglicht präzisere Prozessführung

M. Hesse, H. Keuter, B. Koop, M. Schlichting

*Die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen, deren Langlebigkeit und die verfahrenstechnische Prozessführung sind wesentliche Kostenfaktoren im Mischsaal. Die genaue Messung der Materialtemperatur zu jedem Zeitpunkt des Mischzykluses ist für eine genaue Prozessführung maßgeblich. Aufgrund der rauen Umgebungsbedingungen im Innenmischer müssen Temperaturfühlerspitzen robust gebaut werden, was jedoch insbesondere bei großen Temperaturgradienten zu Abweichungen zwischen der gemessenen und der realen Temperatur führt. Die HF Mixing Group hat daher einen Temperatursensor mit verbessertem Ansprechverhalten entwickelt, der auch kritische Temperaturgrenzen genau bestimmen kann.*

*The availability of machines and equipment, their durability and the procedural process control are essential cost factors in the mixing room. The accurate measurement of material temperature at any given point in the mixing cycle is critical for a precise process control. Due to the harsh conditions in the internal mixer, temperature sensor tips must be built robustly, which, however, leads to deviations between the measured and the real temperature, especially in the case of high temperature gradients. The HF Mixing Group has therefore developed a temperature sensor with improved response behaviour that can accurately measure even critical temperature limits.*

## 1 Einleitung

Seit 2018 erlebt die Automobilindustrie weltweit stark sinkende Absatzzahlen. Der Verkauf von Neufahrzeugen ist um ca. 30 % gesunken, was nur zum Teil durch die Covid-19-Pandemie verursacht war. Hierdurch sinkt nicht nur der Bedarf an Reifen in der Neuausrüstung, sondern auch von anderen Gummiprodukten für Fahrzeuge, was zu einer geringeren Auslastung in der kautschukverarbeitenden Industrie führt. Es ist davon auszugehen, dass sich hierdurch eine Konsolidierungsphase von Kapazitäten ergibt und Zulieferer preislich weiter unter Druck

geraten [1]. Die Zuliefererindustrie wird in der Konsequenz Herstellungsprozesse weiter optimieren und Potenziale heben müssen.

Wesentliche Kostenfaktoren im Mischsaal sind durch die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen, deren Langlebigkeit und durch die verfahrenstechnische Prozessführung gegeben. Die HF Mixing Group hat sich daher auf die Fahnen geschrieben, entsprechende Kostensenkungspotenziale zu untersuchen und Lösungen zur weiteren Senkung von Kosten in der Mischungsherstellung anzubieten.

Es ist allgemein bekannt, dass die Kenntnis der genauen Mischtemperatur in bestimmten Mischphasen von großer Bedeutung ist. Im Folgenden soll daher auf die schwierige Messung der Mischungstemperatur im Innenmischer eingegangen werden. Bei der Verarbeitung von Silicamischungen ist es z. B. von ausschlaggebender Bedeutung, die Silanisierungstemperatur in der entsprechenden Silanisierungsphase nicht zu überschreiten, da es dann zu Vernetzungseffekten kommen kann. Fährt man den Prozess aus Sicherheitsgründen mit zu niedriger Silanisierungstemperatur, verzögert sich der Mischprozess, da die Silanisierungsgeschwindigkeit kleiner ist. Aber auch bei Fertigmischprozessen ist leicht vorstellbar, dass

eine exaktere Prozessführung Risiken minimiert und die Wirtschaftlichkeit erhöht. Sicherlich gibt es noch deutlich mehr Beispiele, die die Bedeutung einer genaueren Temperaturmessung belegen könnten.

## 2 Entwicklung eines neuen Temperaturfühlers

Für eine genaue Prozessführung ist die exakte Messung der Materialtemperatur zu jedem Zeitpunkt des Mischzykluses von entscheidender Bedeutung. Übersteigt die Temperatur eine materialabhängige Grenztemperatur im Innenmischer, führt dies zu thermischer Schädigung der inneren Strukturen des Mischgutes und vermindert die Qualität des Endprodukts.

In einem Innenmischer herrschen raue Umgebungsbedingungen. Abrasive Materialien werden unter Einwirkung großer Kräfte miteinander vermischt. Durch ihre exponierte Lage müssen besonders die Temperaturfühler robust gebaut und geschützt werden. Aus diesem Grund haben viele konventionelle Sensoren dickwandige, massive Temperaturfühlerspitzen, welche die von außen aufgeprägten Temperaturen nur langsam an das eigentliche Thermoelement weiterleiten. Diese Trägheit führt besonders bei großen

Dr.-Ing. Markus Hesse  
markus.hesse@hf-mixinggroup.com

Dr.-Ing. Harald Keuter  
Börge Koop  
Martin Schlichting

Harburg Freudenberger Maschinenbau GmbH,  
Freudenberg  
www.hf-mixinggroup.com

Alle Abbildungen und Tabellen wurden, sofern nicht anders angegeben, freundlicherweise von den Autoren zur Verfügung gestellt.

Temperaturgradienten zu Abweichungen zwischen der gemessenen und der realen Temperatur (Abb. 1).

Ein sensibler, stabiler Temperatursensor, der auch schnelle Temperaturänderungen agil und genau bestimmen kann, war die Zielvorgabe bei diesem Entwicklungsvorhaben. Um eine schnellere Ansprechzeit der Materialtemperaturfühlerspitze im Vergleich zu der konventionellen Fühlerspitze zu erreichen, wurde die Geometrie der Fühlerspitze verbessert (Abb. 2).

Die stromlinienförmige Ausführung des Sensors hat zwei Vorteile. Zum einen wird der Sensor weniger durch die Reibungswärme des vorbeiströmenden Materials beeinflusst und zum anderen reduziert sich die auf den Sensor wirkende Kraft. Dies in Kombination mit einer inneren Versteifungsstruktur ermöglicht dünnere Außenwände der Sensorspitze bei gleicher Stabilität und Haltbarkeit.

In der Entwicklungsphase wurden die Reaktionszeiten der Sensoren mithilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) analysiert (Abb. 3). Für die Simulation wurden beide Sensorspitzen schlagartig von 20 °C auf 150 °C erwärmt und die Wärmeübertragungsprozesse für einen Zeitraum von 180 s berechnet.

Die Ergebnisse der vergleichenden FEM-Simulation zeigen zwei Unterschiede:

1. In der Anfangsphase zeigt der neue Sensor eine schnellere Erwärmung im Bereich der Fühlerspitze (Abb. 3/1). Die simulierte Reaktionszeit auf Temperaturänderungen ist somit kürzer.
2. Nach 180 s ist der Schaft des neuen Fühlers weniger stark erwärmt (Abb. 3/2). Auch dies ist ein Indiz für ein verbessertes dynamisches Ansprechverhalten des Sensors.

Nach der Herstellung des neuen Fühlers wurde die Reaktionszeit der beiden Sensoren mithilfe eines temperierten Ölbad auch praktisch untersucht (Abb. 4). Für die Analyse wurden die Sensoren zeitgleich in ein auf 150 °C vorgewärmtes Ölbad getaucht. Besonders deutlich wird die verbesserte Ansprechzeit in den ersten 20 s, also bei großen

Abb. 1: Abweichungen zwischen gemessener und realer Temperatur

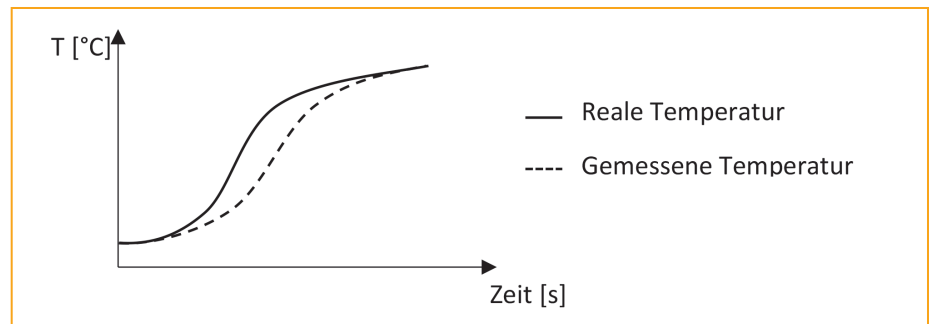


Abb. 2: Geometrievergleich der Sensorspitzen

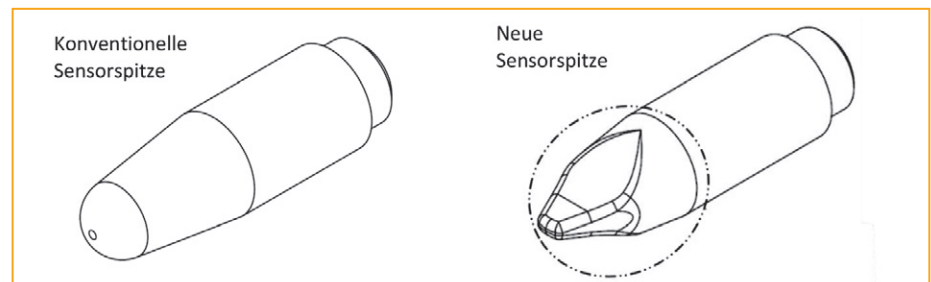


Abb. 3: FEM-Simulation der Aufheizung des konventionellen und des neuen Sensors.

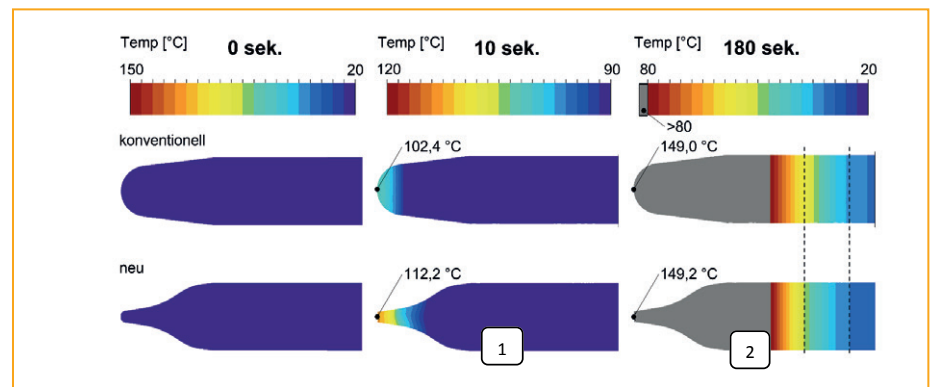
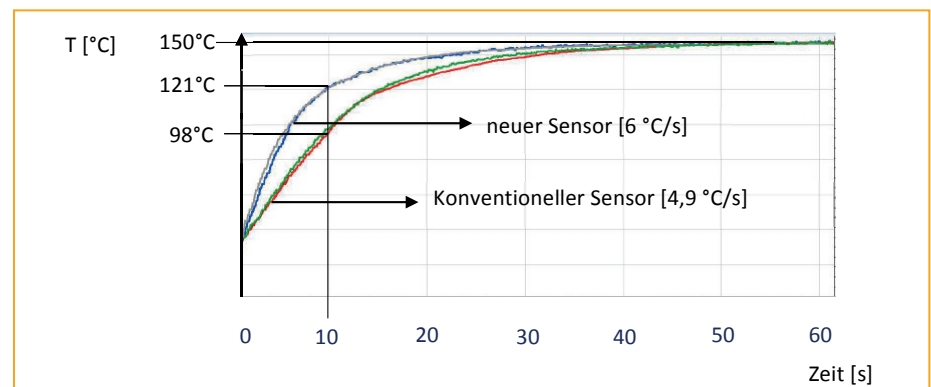


Abb. 4: Sensorvergleich im Ölbad (vier Messungen)



Temperaturgradienten. Hier konnten Temperaturunterschiede von bis zu 20 °C gemessen werden.

Nach den erfolgreichen Vorversuchen im Ölbad wurde der neue Sensor in die Entleerungsklappe eines IM 45 E eingebaut. Ein

direkter Vergleich mit der herkömmlichen Bauform war möglich, da das Entleerungskappenoberteil der Testmaschine mit zwei Temperaturfühlerbohrungen ausgestattet ist und somit eine parallele Aufzeichnung der Temperatur von zwei Sensoren ermöglicht (Abb. 5).



Das verbesserte Ansprechverhalten des neuen Sensors kann schon aus der Kurvengeometrie abgeleitet werden (Abb. 6). Die relative Trägheit der herkömmlichen Fühlerspitze dämpft und glättet das Messsignal. Der Kurvenverlauf ist aus diesem Grund gleichmäßiger und weniger schwankend.

Des Weiteren konnten drei Vorteile festgestellt werden:

1. In der Materialeinzugsphase (Abb. 6/1) liegt die gemessene Temperatur des neuen Sensors unter der des Standardfühlers. Dieses Verhalten ist auf den ver-

ringerten Fließwiderstand der neuen Fühlerspitze und die damit verbundene reduzierte Reibungswärme zurückzuführen (Abb. 6/1). Im weiteren Prozessverlauf kommt es aufgrund der zunehmenden Inkorporation der Füllstoffe zu erhöhten Energieeinträgen. Der damit verbundene schnelle Temperaturanstieg wird von dem herkömmlichen Sensor nur zeitversetzt erfasst, sodass die Temperaturkurve des neuen Sensors die des herkömmlichen übersteigt (Abb. 6/2). Vorteil: Oft wird die Materialtemperatur in dieser Phase genutzt, um Mischpro-

zesse zu steuern (...mische bis zu einer gewissen Temperatur, dann...). In diesem Fall führt eine genauere Bestimmung der Materialtemperatur zu einer verbesserten Prozessführung und kürzeren Mischzyklen.

2. Nach einem Lüftschrift erreicht der Stempel die Endlage. Der Energieeintrag ist in dieser Mischphase sehr hoch. Der resultierende Temperaturanstieg wird von dem neuen Sensor genauer und 10 s schneller erfasst (Abb. 6/3). Vorteil: Kautschukmischungen dürfen in der Regel bestimmte Temperaturgrenzen nicht überschreiten. Durch eine agile präzise Bestimmung der Materialtemperatur in dieser Prozessphase können kritische Temperaturgrenzen genauer „angefahren“ werden. Hierdurch entstehen dem Betreiber verschiedenen Vorteile:

- bessere Materialqualität (keine Überhitzung)
- kürzere Mischzeiten und höhere Durchsätze
- weniger Energieverbrauch

Abb. 5: Entleerungsklappenoberteil mit zwei Fühlerbohrungen

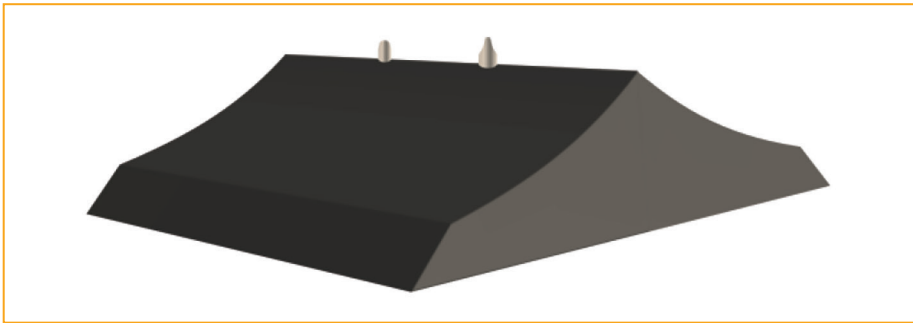
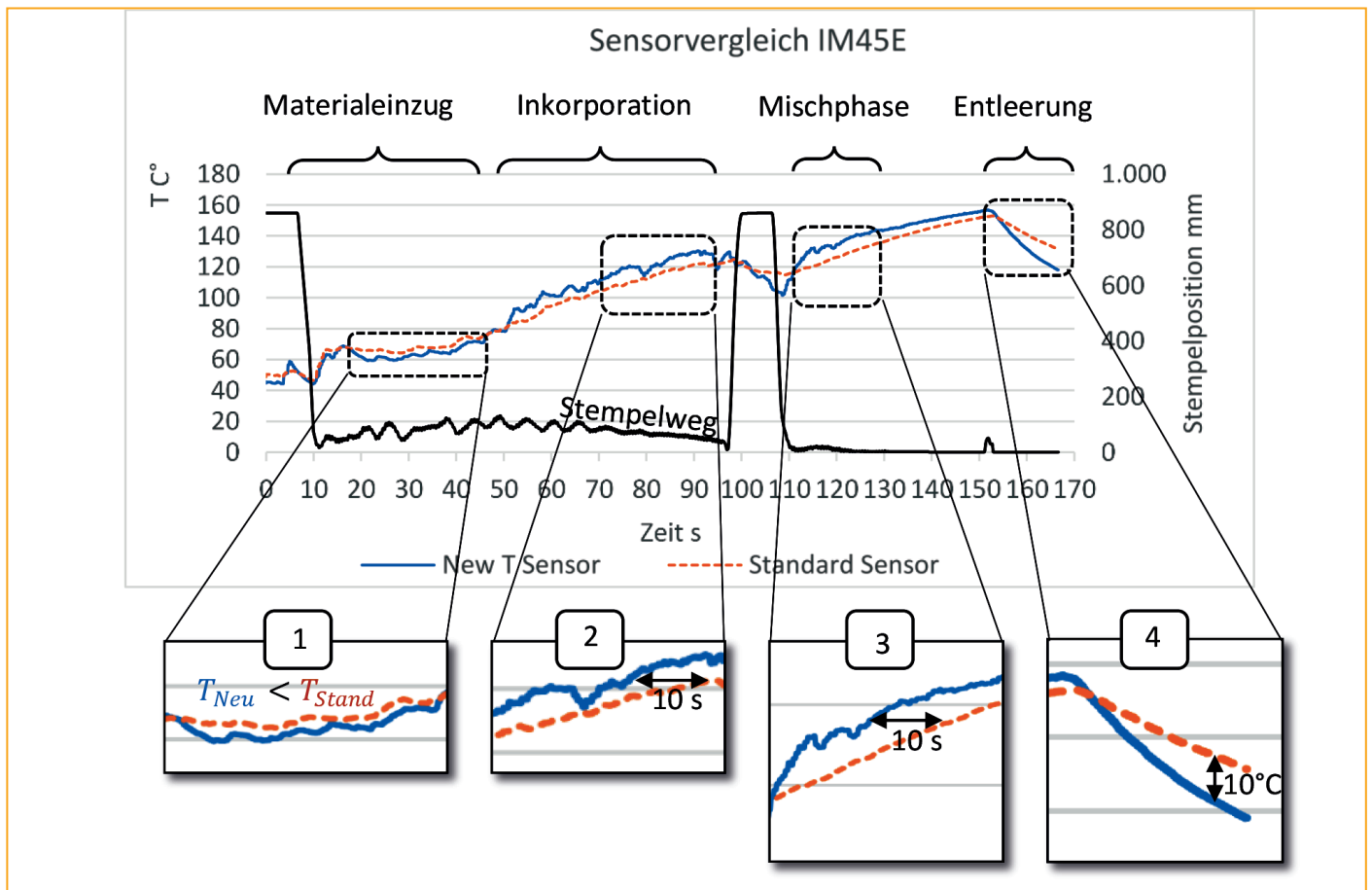


Abb. 6: Sensorvergleich im ineinandergreifenden Innenmischer



3. Nach der Entleerung kühlt sich die neue Fühlerspitze schneller ab (**Abb. 6/4**). Vorteil: Die Temperaturmessung der nachfolgenden Rezeptur wird weniger durch eine vorgewärmte Fühlerspitze beeinflusst.

### 3 Wirtschaftliches Potenzial

Neben den positiven verfahrenstechnischen Auswirkungen ergeben sich durch die verbesserte Prozesseffizienz auch wirtschaftliche Vorteile. Wird eine Mischzeitreduktion von 10 s angenommen, so lässt sich an folgendem Fallbeispiel eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchführen.

#### Maschinendaten:

Maschinengröße: IM320E  
 Mischkammervolumen:  $V = 332 \text{ L}$   
 Anlagenverfügbarkeit/Jahr:  $h = 6.000 \text{ h/Jahr}$   
 Durchschnittliche Leistungsaufnahmen:  $P = 800 \text{ kW}$

#### Prozessdaten:

Zykluszeit:  $t_z = 300 \text{ s}$   
 Füllfaktor:  $f = 0,65$   
 Mischzeitreduzierung durch neuen Sensor:  $t_r = 10 \text{ s}$

#### Materialdaten:

Dichte:  $\rho = 1,2 \text{ kg/dm}^3$

Für den oben beschriebenen Mischer ergibt sich somit eine Durchsatzsteigerung durch den Einsatz des neuen Fühlers von:

$$M = V \cdot f \cdot \rho \cdot h \cdot 3600 \cdot \left( \frac{1}{t_{z-R}} - \frac{1}{t_z} \right) \approx 643 \text{ to/Jahr}$$

Wird das zusätzliche Volumen nicht benötigt, ist durch den effizienteren Prozess eine Energieeinsparung von

$$E = \frac{M \cdot t_z \cdot P}{V \cdot f \cdot \rho \cdot 3600} \approx 165.517 \text{ kWh/Jahr}$$

möglich. Bei einem Strompreis von 0,12 EUR/kWh beträgt somit die Kosteneinsparung ca. 20.000 EUR/Jahr.

### 4 Fazit

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass die entwickelte Temperaturfühlerspitze eine genauere Prozessführung ermöglicht. Besonders deutlich wird dies z. B. in der Inkorporationsphase, in welcher die Materialtemperatur schnell ansteigt. Die großen Temperaturgradienten werden genauer erfasst, so dass Regel- und Steuerungsprozesse präzise

eingeleitet werden können. Hieraus ergeben sich dem Anwender verschiedene Vorteile.

Kritische Temperaturgrenzen werden schärfer aufgelöst, wodurch eine temporäre Überhitzung durch ein zeitversetztes träges Messsignal vermieden wird. Die Vermeidung von thermischen Schäden verbessert die Qualität des Mischguts.

Temperaturgeregelte Mischphasen, in welchen definierte Materialtemperaturen den nächsten Prozessschritt freigeben, verkürzen sich. Versuche haben gezeigt, dass Temperaturweitschaltmarken um bis zu 10 s früher erreicht wurden. Dies wird sich positiv auf Durchsatz bzw. Energieverbrauch der Mischlinie auswirken.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die verbesserte Transparenz der Temperaturentwicklung Qualität, Durchsatz und Energieeffizienz einer Produktionslinie erhöhen kann. Darüber hinaus gewährleitet Material, Form und Struktur des Sensors einen reibungslosen Betrieb sowie eine lange Sensorlebensdauer.

### 5 Literatur

[1] Global Automotive Supplier Study, August 2019; Lazard & Roland Berger

## Deutsche Kautschukindustrie: Automobilzulieferer am Rande des Abgrunds

Wie der Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V. (wdk) berichtet, erreichen den Verband aus den verschiedensten Automobilzuliefer-Industriebranchen Meldungen über existenzbedrohende Liquiditätsgaps.

Die Stillstände bei den Automobilherstellern aufgrund fehlender Halbleiter seien öffentlich bekannt. Weit weniger beachtet werde die sich zuspitzende Situation bei den Automobilzulieferunternehmen: Die Lager seien voll, die Liquidität der Unternehmen sei so gebunden. Banken zeigten aktuell wenig Bereitschaft, kurzfristig weitere Kredite zu gewähren. Bis zum Jahresende werde es in der Lieferkette zu Insolvenzen und Liefer-

abbrissen kommen, so die mit der Situation vertrauten Experten.

Aus Sicht von **Boris Engelhardt**, Hauptgeschäftsführer des wdk, müssen die Einkaufsabteilungen der Automobilhersteller und ihre Zulieferer ganz zeitnah und offen miteinander kommunizieren. Es sei dringend erforderlich, dass die Automobilhersteller die Liquidität der Zulieferer durch Teilzahlun-

gen, z. B. von bereits angefallenen Projekt- und Werkzeugkosten oder durch finanzielle Beteiligung an der Rohstoffbeschaffung stützten. Andernfalls würden der aktuellen Halbleiter-Knappheit weitere Mangelbereiche folgen.

„Am Beispiel japanischer Automobilhersteller zeigt sich, dass auch in der aktuellen Situation eine bessere Kommunikation zwischen Automobilherstellern und Zuliefererunternehmen möglich ist. Hersteller und Zulieferer müssen schnellstmöglich das Miteinander stärken und gemeinsam Problemlösungen finden. Und zwar jetzt!“, so Engelhardt abschließend.

[www.wdk.de](http://www.wdk.de)

# Devulkanisation von Pkw-Altireifengranulat im Doppelschneckenextruder

## Teil 1

H. van Hoek, J. Noordermeer, G. Heideman, A. Blume, W. Dierkes

Die Devulkanisation hat sich als brauchbare Methode zum Gummirecycling erwiesen. Sie dient dazu, das Netzwerk der Kautschukpolymere im hochelastischen Gummigranulat aufzubrechen. Dabei kommt es darauf an, möglichst nur die Netzwerkbrücken zu spalten und nicht die Polymerketten abzubauen. Unter diesem Gesichtspunkt stellt die Devulkanisation von Pkw-Reifen, die SBR und BR sowie größere Mengen an Kieselsäure enthalten, derzeit noch eine Herausforderung dar. In früheren Arbeiten wurde eine Methode entwickelt, bei der das Netzwerk sowohl thermochemisch als auch mechanisch mithilfe von Diphenyldisulfid (DPDS) als Devulkanisationsreagenz im Doppelschneckenextruder abgebaut wird. Aufgrund der Nachteile von DPDS im großtechnischen Einsatz wurde für diese Arbeit 2-2'-Dibenzamidodiphenyldisulfid (DBD) als Devulkanisationsreagenz verwendet. Dafür muss das Doppelschneckenextruderverfahren entsprechend angepasst werden. Durch die Weiterverarbeitung auf einem Walzwerk kann die Qualität des Devulkanisats deutlich verbessert werden und es zeigt nach erneuter Vulkanisation bessere Zugeigenschaften. Zur Optimierung des Devulkanisationsprozesses wurden die Spannungs-Dehnungseigenschaften der Revulkanisate zugrunde gelegt.

De-vulcanization of rubber has been shown to be a viable process to reuse this valuable material. The purpose of the de-vulcanization is to release the crosslinked nature of the highly elastic tire rubber granulate. For present day passenger car tires containing the synthetic rubbers Styrene-Butadiene Rubber (SBR) and Butadiene Rubber (BR) and a high amount of silica as reinforcing filler, producing high quality devulcanizate is a major challenge. In previous research a thermo-chemical mechanical approach was developed, using a twin-screw extruder and diphenyldisulfide (DPDS) as de-vulcanization agent. Because of disadvantages of DPDS for commercial use, 2-2'-dibenzamidodiphenyldisulfide (DBD) was used in the present study. Due to its high melting point of 140 °C the twin-screw extruder process needed to be redesigned. Subsequent milling of the devulcanizate at 60 °C with a narrow gap-width between the mill rolls greatly improved the quality of the devulcanizate in terms of coherence and tensile properties after renewed vulcanization. As optimization parameter for the de-vulcanization process stress-strain properties of re-vulcanized de-vulcanizates were used.

## 1 Einleitung

Bei Gummi allgemein und Pkw-Reifen im Besonderen handelt es sich um sehr beständige Materialien, die nur sehr schwer abgebaut werden können und daher auch lange in der Umwelt verbleiben. Bei einer jährlichen Neu-

produktion von einer Milliarde Reifen pro Jahr [1–3] führen Deponierung oder Verbrennung von Altireifen zu erheblichen Umweltproblemen. In Industrie und Wissenschaft werden deshalb verschiedene Verfahren zur Rückgewinnung des Materials entwickelt, unter anderem die Devulkanisation zur Replastifizie-

rung und der Abbau durch Pyrolyse. Bei der Replastifizierung geht es darum, das durch die Vulkanisation entstandene Polymer Netzwerk aufzubrechen, das dem Gummi seine elastischen Eigenschaften verleiht. Aufgrund der hohen Scherkräfte, die bei den meisten Rückgewinnungsverfahren herrschen, werden

Hans van Hoek <sup>1,2</sup>  
j.w.vanhoek@utwente.nl

Prof. Dr. Jacques Noordermeer <sup>1</sup>

Dr. ir. Geert Heideman <sup>2</sup>

Prof. Dr. Anke Blume <sup>1</sup>

Dr. Wilma Dierkes <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Elastomer Technology and Engineering (ETE),  
Department of Solids, Surfaces and Systems (MS3),  
University of Twente, Enschede,  
The Netherlands

<sup>2</sup> Professorship for Polymer Engineering,  
University of Applied Sciences Windesheim,  
Zwolle, The Netherlands

Zuerst erschienen in Polymers 2021, 13, 1139.  
<https://doi.org/10.3390/polym13071139>

Dieser Artikel ist die Übersetzung eines Open-Access-Artikels unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution (CC BY) Lizenz (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Alle Abbildungen und Tabellen wurden, sofern nicht anders angegeben, freundlicherweise von den Autoren zur Verfügung gestellt.



in der Regel jedoch nicht nur die Netzwerkbrückenbindungen gespalten, sondern auch die Polymerketten abgebaut. Das führt dazu, dass das Devulkanisat nicht ohne weiteres wieder zu qualitativ hochwertigen Produkten verarbeitet werden kann. Darüber hinaus kommt es aufgrund thermischer Einflüsse zum teilweisen Abbau, zur Spaltung und zur Rekombination von Polymerketten [4]. Die in den Synthetikgummis SBR und BR enthaltenen Butadieneinheiten sind besonders anfällig für diese radikalischen Reaktionen, die durch die Wechselwirkung mit Luftsauerstoff gestartet werden [5, 6]. SBR und BR werden vorwiegend für Pkw-Reifen genutzt, im Gegensatz zu Naturkautschuk (cis-1,4-Polyisopren), der meist den Hauptbestandteil von Lkw-Reifenmischungen ausmacht. Naturkautschuk ist nicht so anfällig für Rekombinationsreaktionen und lässt sich daher leichter devulkanisieren [7]. Markl und Lackner haben in einem Review-Paper den Stand der Dinge der De- und Revulkanisation von Autoreifen zusammengefasst [8]. Auf die besonderen Schwierigkeiten bei der De- und Revulkanisation von Gummigranulat aus Pkw-Reifen mit Gummimischungen aus SBR und BR und einem hohen Gehalt an Kieselsäure als Füllstoff anstelle von Ruß wurde dort jedoch nicht eingegangen.

Saiwari et al. haben einen thermochemisch-mechanischen Batchprozess zur Devulkanisation des gesamten Reifenmaterials von Pkw-Reifen im Labormaßstab entwickelt [9]. Sie nutzen dafür einen Innenmischer sowie Diphenyldisulfid (DPDS) als Devulkanisationsreagenz, TDAE als Prozessöl und Tris(2,4-di-tert-butylphenyl)phosphit (TDTBP) als Stabilisator. Auch die Verwendung eines Doppelschneckenextruders in einem kontinuierlichen Prozess ist bereits untersucht worden. Sutanto hat für die Devulkanisation eines EPDM eine spezielle Schnecke modelliert, um die gewünschte Verweildauer im Mischer durch eine entsprechende Gestaltung der Knetelemente zu erreichen [10]. Saiwari hat diese Schnecke zur Devulkanisation von Reifengranulat (ground tire rubber, GTR) verwendet [11]. Saiwari war es auch, die einen ersten Versuch zum Scale-up der Devulkanisation von Pkw-Reifenmaterial zu einem kontinuierlichen Prozess im Doppelschneckenextruder beschrieb [12]. Dabei nutzte sie Schnecken,

die fast ausschließlich fördernde Elemente mit Stegbreiten zwischen 1 D und 1,25 D haben. Um eine Verweildauer von mindestens 6 min aufrechtzuerhalten, wurde eine geringe Schneckengeschwindigkeit von  $10 \text{ min}^{-1}$  eingestellt. Zur Optimierung des Prozesses hinsichtlich der Erhaltung der Polymerketten wurde die sog. Horikx-Verbruggen-Analyse angewendet [13]. Die so bestimmte optimale Formulierung zur Devulkanisation besteht aus 18 mm DPDS pro 100 g GTR, 6,2 Gew.-% TDAE und 1 Gew.-% TDTBP. Vor der Verarbeitung im Extruder wird das Reifengranulat in einer Mischung aus DPDS, TDTBP und Prozessöl vorgequollen, sodass kein Kneten in der Einzugszone des Extruders notwendig ist.

Die im Reifenmehl enthaltene Kieselsäure aus den silica-silan-basierten Laufstreifenformulierungen für Pkw-Reifen erschwert die Devulkanisation und wirkt sich zudem negativ auf die Morphologie und die Zugfestigkeit der Revulkanisate aus [14]. Rund 23 phr Kieselsäure aus dem Laufstreifen haben bereits einen Einfluss auf die Vulkanisationskinetik des Devulkanisats sowie auf die Zugeigenschaften der entsprechenden Vulkanisate. Dieser Einfluss wird in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt. Ein weiteres Problem ist, dass DPDS für großtechnische Anwendungen nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung steht, weshalb 2-2'-Dibenzamidodiphenyldisulfid (DBD) als alternatives Devulkanisationsreagenz verwendet wurde. Aufgrund des höheren Schmelzpunktes von DBD von  $140 \text{ °C}$  musste auch das von Saiwari vorgestellte Schneckendesign [12] entsprechend angepasst werden. Beim Vormischen im zur Verfügung stehenden Mischer sammelte sich DBD an der Mischerwand und an anderen Stellen, weshalb per Hand vorgemischt wurde, bevor die Mischung in den Einfülltrichter gegeben wurde. Danach musste das Devulkanisationsreagenz aufgeschmolzen und in der ersten Zone des Extruders gründlich mit dem Reifenmehl vermischelt werden, damit das DBD in die Granulatpartikel eindringen konnte. Wegen dieses Vorgangs musste die gesamte Extruderlänge ausgeschöpft werden, sodass das Befüllen ausschließlich über die Schwerkraft erfolgte.

Eine wichtige Frage war, wie stark geknetet werden kann, um eine ausreichende Homogenisierung zu erreichen und gleichzeitig

die Motorleistung bei einem nicht plastifizierten Gummimaterial auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Durch die genannten Faktoren ist die Devulkanisation von Synthetikgummi aus Pkw-Reifen deutlich komplizierter als die von Naturkautschuk aus Lkw-Reifen. Ziel dieser Veröffentlichung war es daher, hierfür Lösungen zu entwickeln und die optimalen Bedingungen für eine kontinuierliche Devulkanisation von Pkw-Reifenmaterial im Doppelschneckenextruder zu finden, bei denen die Polymere (hauptsächlich SBR) im Wesentlichen intakt bleiben.

## 2 Verteilung und Diffusion von Devulkanisationsreagenzien im Gummigranulat

Die Tatsache, dass das Devulkanisationsreagenz DBD nicht durch Vorquellung bei Raumtemperatur in das Granulat eingebracht werden kann, hat zwei Konsequenzen:

- Die Extruderkonfiguration muss eine gründliche mechanische Durchmischung von Reifenmehl und DBD ermöglichen.
- Die Extrudertemperatur muss so hoch sein, dass das DBD in geschmolzenem Zustand vorliegt und in die Reifenmehlpartikel eindringen kann.

Durch die physikalischen Transportvorgänge sind dem Verfahren praktische Grenzen gesetzt. Wird Reifengranulat mit einer typischen Partikelgröße von 1 mm bis 3,5 mm verwendet, muss folgendes beachtet werden:

- Die Konzentration des Devulkanisationsreagenz im Verhältnis zum Volumen der Partikel hängt von der spezifischen Oberfläche des Granulats ab. Das Devulkanisationsreagenz muss erst über die Oberfläche der Partikel verteilt werden, bevor es in sie eindringen kann.
- Das Eindringen von Prozessöl und Devulkanisationsreagenz in die Granulatpartikel benötigt eine gewisse Zeit.
- Bis in den Partikeln ein Quellungsgleichgewicht erreicht ist, besteht ein zeitabhängiger Konzentrationsgradient zwischen Oberfläche und Zentrum der Partikel.
- Genauso ergibt sich ein zeitabhängiger Temperaturgradient.

**2.1 Konzentration des Devulkanisationsagens in Abhängigkeit von der Partikelgrößenverteilung im Granulat**

Geht man von sphärischen Partikeln aus, so unterscheidet sich das Verhältnis Oberfläche zu Volumen zwischen den größten (~3,5 mm) und den kleinsten (~1 mm) Partikeln um den Faktor 3,5. Beim Vermischen des Reifengranulats mit dem Prozessöl und dem Devulkanisationsagenz verteilen sich beide Komponenten zunächst über die Oberflächen der Granulatpartikel. Aufgrund des größeren Volumen-Oberflächen-Verhältnisses der größeren Partikel, lagert sich auf diesen im Vergleich zu den kleinsten Partikeln pro Volumen nur ein Drittel der beiden Komponenten auf der Oberfläche ab. Da sich im Granulat eine relativ große Anzahl an kleineren Partikeln befindet, bedeutet das, dass sich ein überproportional hoher Anteil von Öl und Devulkanisationsagenz auf den kleineren Partikeln ablagert.

Basierend auf der durch Sieben bestimmten Größenverteilung des Reifengranulats, machen Partikel mit Durchmessern zwischen 2 mm und 3,5 mm etwa 80 Gew.-% der Probe aus, etwa 20 Gew.-% haben einen Durchmesser von 0,85 mm bis 2 mm. Nur ein sehr kleiner Anteil der Partikel, etwa 1 Gew.-%, ist größer als 3,5 mm [12]. Wenn zu einem Gummigranulat dieser Zusammensetzung 5 Gew.-% Prozessöl hinzugefügt werden, bedeutet das, dass rund 9 Gew.-% des Öls von der kleinsten Fraktion aufgenommen werden, während die größte Fraktion nur 2 Gew.-% des Prozessöls aufnimmt, wenn man die Grenzen bei 0,85 mm, 2 mm und 3,5 mm zieht. Ähnliche Konzentrationsunterschiede ergeben sich auch für das Devulkanisationsagenz. Insgesamt ergibt sich in den größten Partikeln daher eine deutlich geringere Konzentration der Additive als in

den kleinsten Partikeln, was zu einer inhärenten Inhomogenität führt.

**2.2 Konzentrationsgradient des Devulkanisationsagens im Partikel**

Damit sich beim Mischen des Devulkanisationsagens mit dem Granulat eine Gleichgewichtskonzentration einstellt, muss das Agenz in die Partikel migrieren. Für die Modellbetrachtung kann man für die Flüssigkeit außerhalb der Partikel eine konstante Konzentration annehmen [15]. In der Praxis nimmt der Flüssigkeitsanteil auf der Oberfläche ab während sie in die Partikel eindiffundiert. Aufgrund der Tatsache, dass sowohl Devulkanisationsagenz als auch Öl in den Kern des Partikels vordringen müssen, dauert es in einem großen Partikel länger bis die zur Initiierung der Devulkanisation nötige Konzentration erreicht ist. Bouvier und Gelus haben das Migrationsverhalten von Öl in SBR in Abhängigkeit von der Temperatur untersucht [16]. Obwohl dort die Konzentration des Öls außerhalb der Partikel konstant gehalten wurde, können die Ergebnisse dieser Untersuchung mithilfe des Fick'schen Gesetzes eine erste Einschätzung zur Zeitskala des Migrationsvorgangs dienen. Für das System Öl-SBR bestimmte Bouvier den Diffusionskoeffizienten D als Funktion der Temperatur und definierte die Diffusionszeit bis zum Erreichen des Gleichgewichts wie folgt (**Gleichung 1**):

$$t_D = R^2 / D \quad \mathbf{1}$$

Dabei ist R der Radius des kugelförmigen Partikels. Mit **Gleichung 1** und den Anfangsdurchmessern der Partikel von 2 mm und 3 mm lässt sich die für die Migration des Öls bis zum Erreichen des Gleichgewichts benötigte Zeit abschätzen (**Tab. 1**). Bei 200 °C,

der Prozesstemperatur des Devulkanisationsagens (s. Abschnitt 4.3), liegt die Diffusionszeit bis zum Gleichgewicht in der gleichen Größenordnung wie die Verweildauer im Extruder (ca. 6 min). Bei einer Absenkung auf 163 °C, was immer noch höher als der Schmelzpunkt von DBD von 140 °C ist, steigt die Diffusionszeit auf 22 min. Auch wenn es sich hier nur um eine Abschätzung handelt, wird deutlich, dass die Migrationszeiten für größere Partikel deutlich länger sind als die Verweildauer im Extruder.

**2.3. Temperaturgradient innerhalb der Granulatpartikel**

Für den Temperaturgradienten innerhalb eines sphärischen Partikels ergibt sich ein ähnlicher Zusammenhang wie für den Konzentrationsgradienten [15]. So kann abgeschätzt werden, wie lange es dauert, bis im Zentrum eines Partikels eine bestimmte Temperatur erreicht ist. Will man bei einer Starttemperatur von 30 °C und einer Extrudertemperatur von 220 °C innerhalb des gesamten Granulats eine Temperatur von 200 °C erreichen ergibt sich (**Gleichung 2**):

$$\frac{T - T_0}{T_1 - T_0} = 0,89 \quad \mathbf{2}$$

Mit T<sub>0</sub> als Anfangstemperatur des Granulats, T<sub>1</sub> Oberflächentemperatur zum Zeitpunkt t > 0 und T als Kerntemperatur. Entsprechend den Masterkurven aus [15] korreliert 0,89 mit einem Wert von αt/R<sup>2</sup> ≈ 0,35, wobei α der Wärmeübertragungskoeffizient, t die Zeit und R der Partikelradius ist. Für SBR, die Hauptkomponente in der Granulatzusammensetzung, kann mit [17] **Gleichung 3** abgeleitet werden.

$$\alpha = \frac{\kappa}{\rho c} = 1,06 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \quad \mathbf{3}$$

Dabei ist κ = 0,2 W/mK die Wärmeleitfähigkeit, ρ = 940 m<sup>3</sup> die Dichte, c = 2 kJ/kgK die spezifische Wärmekapazität. Für größere Partikel mit einem Durchmesser (=2R) von 3 mm, kann bei einer Extrudertemperatur von 220 °C die Zeit bis zum Erreichen der Kerntemperatur von 200 °C **Gleichung 4** abgeleitet werden [15].

**Tab. 1:** Diffusionskoeffizienten D und berechnete Diffusionszeiten bis zum Erreichen des Gleichgewichts in Abhängigkeit von der Temperatur am Beispiel eines Öl/SBR-Systems nach Bouvier und Gelus [16]

Temperatur	D	Zeit	
		d = 2 mm	d = 3 mm
Partikeldurchmesser			
20 °C	16 μm <sup>2</sup> /s	17 h	39 h
100 °C	556 μm <sup>2</sup> /s	30 min	67 min
163 °C	1690 μm <sup>2</sup> /s	10 min	22 min
180 °C	2530 μm <sup>2</sup> /s	7 min	15 min
201 °C	3390 μm <sup>2</sup> /s	5 min	11 min

$$\frac{\alpha t}{R^2} = 0,35 \rightarrow t \approx 7,5s \quad 4$$

Das zeigt, dass die Wärme innerhalb der Partikel sehr schnell transportiert wird. Der Einfluss auf die Inhomogenität der Devulkanisation der einzelnen Partikel ist also gering.

### 3 Experimenteller Teil

#### 3.1 Materialien

Das Reifengranulat wurde von Genan (Dorsten) bezogen. Es handelt sich dabei um ein kommerziell erhältliches Granulat aus Pkw-Reifen mit mindestens 45 Gew.-% Polymeranteil (davon 10-35 Gew.-% Naturkautschuk) und einem Ascheanteil (hauptsächlich Kieselsäure) von weniger als 10 Gew.-%. Die Partikelgrößen liegen zwischen 1 mm und 3,5 mm [18]. Die in **Tabelle 2** gezeigte Größenverteilung der Partikel wurde mithilfe von Laborsieben bestimmt. Die hier verwendete GTR-Type mittleren Reinheitsgrades wurde aufgrund

**Tab. 2:** Größenverteilung der Reifengranulatpartikel bestimmt über Laborsiebe

Maschenweite in mm <sup>2</sup>	Anteil in Gew.-%
< 0,85	vernachlässigbar
0,85 < GTR < 2	80
2 < GTR < 3,5	19
> 3,5	1

des geringen Anteils an Verunreinigungen (Steine und Schmutz von der Reifenoberfläche, Stahl auf dem Reifencord, Abrieb der Granulierwerkzeuge und Faserstaub aus der Karkasse) ausgewählt. Die gröberen Typen enthalten meist mehr Staub, Stahl und Fasern aus der Karkasse, die feineren Typen enthalten meist mehr Stahl und mineralischen Staub.

Das hier verwendete Devulkanisationsagens 2-2'-Dibenzamidodiphenylsulfid (DBD) ist als Mastizierhilfe für Naturkautschuk weit verbreitet. DBD hat einen Schmelzpunkt von 140 °C. Dadurch ist es nicht möglich, das Reifengranulat in DBD vorzuquellen, da die hohe Temperatur über die Dauer des Quellvorgangs zu einem Polymerabbau im Kautschuk führen würde. Statt-

dessen wurde das Reifengranulat manuell mit Prozessöl, DBD und TDTBP vermischt, bevor es in den Extruder gegeben wurde. Während des Aufschmelzens des DBD müssen dann natürlich im ersten Teil des Extruders alle Komponenten gründlich vermischt werden.

Die hier verwendeten Materialien wurden von folgenden Herstellern bezogen: 2-2'-Dibenzamidodiphenylsulfid (DBD) von Schill + Seilacher GmbH, Böblingen, Tris(2,4-di-tert-butylphenyl)phosphit (TDTBP) von Sigma Aldrich Corporation, Zwijndrecht, Niederlande, Treated Distillate Aromatic Extract (TDAE), Vivatex 500 Prozessöl von Hansen & Rosenthal, Hamburg. Aceton, Reinheit > 99,5 Gew.-%, Tetrahydrofuran (THF), Reinheit > 99,8 Gew.-% und Toluol, Reinheit > 99,8 Gew.-% wurden von Atlas & Assink Chemie b.v., Enschede, Niederlande, bezogen. Butadienkautschuk (BR) Type BUNA CB24 kam von der Arlanxeo Deutschland GmbH, Leverkusen, TiO<sub>2</sub>, Hombitan R210 von Venator, Wynyard, UK, ZnO und Stearinsäure von Merck KGaA, Darmstadt, Schwefel von J.T.Baker. N-tertbutyl-2-benzothiazole-sulfenamid (TBBS), Mercaptobenzothiazol-disulfid (MBTS) und 1,3-Diphenylguanidine (DPG) kamen von Lanxess Rhein Chemie GmbH, Köln. Bis[3-(triethoxysilyl)propyl]tetrasulfid (TESPT) wurde von Evonik Industries AG, Essen, und NaOH, techn., von Sigma Aldrich Cooperation, Zwijndrecht, Niederlande, bezogen. Beim Bleichwasser handelt es sich um eine 2 %-ige wäßrige NaHClO-Lösung.

#### 3.2 Methoden zur Qualitätsanalyse der Devulkanisate

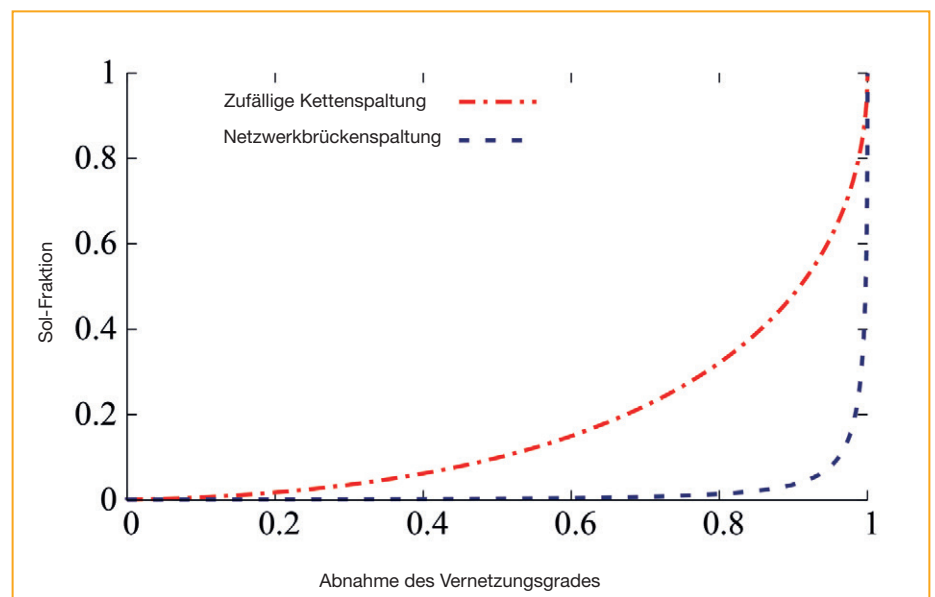
Die Qualität der Devulkanisate wurde durch die Vulkanisationseigenschaften, Zugversuche und Horikx-Verbruggen-Analysen untersucht.

Zur Untersuchung der Vulkanisationseigenschaften wurde ein Rubber Process Analyzer RPA Elite von TA Instruments verwendet. Die Versuche wurden gemäß ISO 6502 bei 170 °C, 0,833 Hz und einer Dehnung von 2,89 % durchgeführt. Zur erneuten Vulkanisation der Devulkanisate wurde eine Wickert WLP1600 Laborpresse verwendet (170 °C, t<sub>90</sub> + 2 min, Form: 100 mm x 100 mm x 2 mm).

Zugprüfungen wurden mit einer Zwick BZ1.0/TH1S-Zugprüfmaschine mit einem hantelförmigen Prüfkörper bei einer Zuggeschwindigkeit von 500 mm/min gemäß ISO 37 Typ II durchgeführt. Zugfestigkeit und Bruchdehnung wurden als Optimierungskriterien betrachtet, da diese Eigenschaften für die Anwendung die größte Relevanz haben.

Um das Verhältnis von zufälliger Polymerkettenspaltung und Netzwerkbrückenspaltung quantitativ einordnen zu können, wurde die Methode von Verbruggen [13] angewandt, die auf der Horikx-Theorie [19] zum Zusammenbrechen des Polymernetzwerks bei hochenergetischer Strahlung basiert. Nach

**Abb. 1:** Typisches Horikx-Verbruggen Diagramm





dieser Methode wird der vom Netzwerk abgetrennte – und daher lösliche Anteil – des Polymers in Abhängigkeit von der relativen Abnahme des Vernetzungsgrades betrachtet. Diese Betrachtung erlaubt es, zwischen der ungewollten Polymerkettenspaltung und der erwünschten Spaltung von Netzwerkbrücken zu unterscheiden (**Abb. 1**).

Der Vernetzungsgrad wird über die Quellung nach Flory-Rehner bestimmt [20], eine Methode, die ursprünglich für ungefüllte Polymernetzwerke entwickelt wurde. Kraus [21] und Porter [22] haben jedoch gezeigt, dass sich die Methode auch auf rußgefüllte Gummimischungen anwenden lässt. Dafür führten sie einen Korrekturfaktor für den Füllstoffanteil ein. Verbruggen et al. zeigten schließlich, dass die Methode auch auf komplexere Polymernetzwerke aus einem Polymer angewendet werden kann. Die lösliche Sol-Fraktion wurde durch Extraktion der Proben mit Aceton und THF in einer Soxhlet-Apparatur bestimmt. Nach Quellung der extrahierten Proben in Toluol konnte der Vernetzungsgrad nach der Flory-Rehner-Theorie unter Verwendung des Korrekturfaktors von

Porter über die Menge des absorbierten Flüssigkeit bestimmt werden.

Unregelmäßigkeiten (sichtbare Partikel) im Devulkanisat wirken sich negativ auf die Mischbarkeit und spätere Revulkanisation aus. Um diese Unregelmäßigkeiten zu quantifizieren, wurde eine sog. White-Rubber Analyse (WRA) durchgeführt. Im vorliegenden Fall machte ein Blend aus 95 Gew.-% eines Compounds auf BR Basis mit 65 phr Titandioxid und 5 Gew.-% Devulkanisat die Partikel vor einem grauen Hintergrund am besten sichtbar. Die Blends wurden in einer runden Form zu 5 mm dicken Scheiben mit einem Durchmesser von 50 mm verpresst und vulkanisiert. Anschließend wurde die Oberfläche mit Sandpapier bearbeitet, bis eine homogene Verteilung sichtbar wurde. Die Proben hatten dann eine graue Oberfläche in die einzelne schwarze Flecken eingebettet waren, die der Anzahl und Größe der Partikel im Devulkanisat entsprechen. Aufnahmen der Oberflächen wurden in Schwarz-Weiß-Bilder umgewandelt, um den Kontrast zu erhöhen. Obwohl für die Charakterisierung eine statistische Metho-

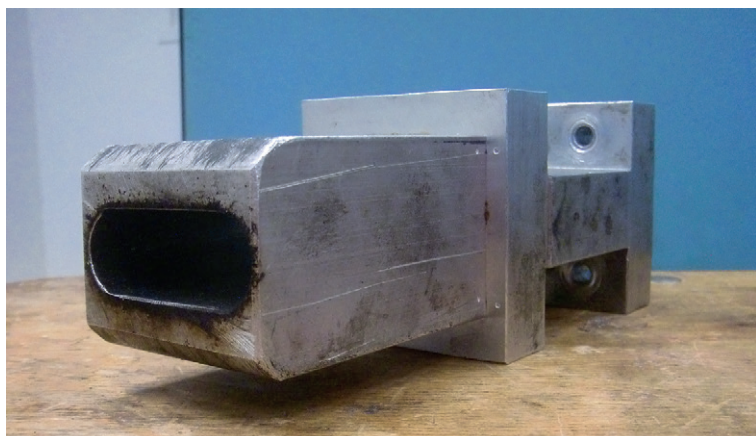
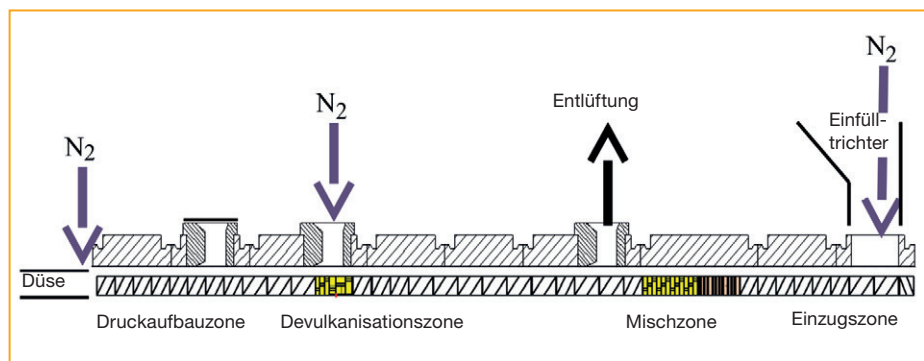
de entwickelt wurde, erschien der visuelle Vergleich am anschaulichsten und wurde in der vorliegenden Untersuchung angewendet.

### 3.3 Geräte und Versuchsaufbau für De- und Revulkanisation

Zur Vorbehandlung wurde das Reifengranulat manuell in einem einfachen Behälter mit Prozessöl, DBD und Stabilisator gemischt. Die maximale Batchgröße betrug 7 l. Zum De- und Revulkanisieren wurde ein Brabender Plasticorder-Innenmischer mit einem Kammervolumen von 50 ml verwendet. Nach dem Kalandrieren oder nach erneutem Mischen wurde das Devulkanisat auf einem Schwabenthan-Laborwalzwerk mit Walzen von 200 mm Breite, einem Walzendurchmesser von 80 mm und einem Friktionsverhältnis von 1,13 bei Temperaturen zwischen 40 °C bis 60 °C weiterverarbeitet. Die Umdrehungsgeschwindigkeit betrug 22 min<sup>-1</sup> und die Spaltbreiten lagen zwischen 0,1 mm und 2 mm.

Die qualitative Analyse des Devulkanisates durch Zugprüfungen wird dadurch erschwert, dass vorab nicht bekannt ist, ob und wieviel Kieselsäure in den kommerziellen Proben enthalten ist. Die erforderlichen Formulierungen unterscheiden sich daher grundlegend und können zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen führen. Daher wurde das Devulkanisat in zwei Formulierungen untersucht. Einmal in einer rußgefüllten Formulierung für die Revulkanisation und einmal in einer Formulierung, die auf eine Mischung aus Ruß und Kieselsäure als verstärkenden Füllstoff abgestimmt war. Die entsprechenden Formulierungen und Compoundvorschriften finden sich im Anhang A.

**Abb. 2:** Extruderaufbau von rechts nach links: Schnecke mit Mischelementen (braun) und Knetelementen (gelb) in der Mischzone, wechselnden Elementen in der Devulkanisationszone und einigen Misch- und Knetelementen in der Druckaufbauzone. Gezeigt sind außerdem die Positionen der Stickstoffzufuhr.



**Abb. 3:** Verlängerte Düse

Der Aufbau der Devulkanisationsanlage ist in **Abbildung 2** bis **Abbildung 5** gezeigt. Die kontinuierliche Devulkanisation wurde mit einem gleichlaufenden Doppelschneckenextruder KrausMaffei ZE 25 UTX (KrausMaffei Technologies GmbH, München) mit einer Länge von 42D bei einem Durchmesser von D = 25 mm mit drei Entlüftungspositionen durchgeführt, wobei eine Entlüftungsposition zur Stickstoffzufuhr genutzt wurde (**Abb. 2**). Im Gegensatz zu Thermoplasten, bei deren Verarbeitung der Doppelschneckenextruder genutzt wird, um das

Material aufzuschmelzen und zu mischen, schmilzt das Gummigranulat in diesem Versuchsaufbau nicht. Der Extruder dient hier vielmehr dazu, das Devulkanisationsreagenz in das Gummigranulat einzubringen und so die Netzwerkbrücken kontrolliert aufzubrechen, sodass man am Ende ein unvernetztes Kautschukmaterial erhält.

Im Gegensatz zur Rückgewinnung, bei der von Anfang an kleine Polymerfragmente aus dem Polymernetzwerk herausgelöst und replasifiziert werden, bleibt der Kautschuk bei diesem Verfahren die ganze Zeit über als Granulat erhalten. Deshalb muss das gesamte Konzept des Doppelschneckenextruders neu bedacht werden. Die Wirkung der Knet- und Mischelemente verändert sich deutlich. Rückwärtsbewegungen, die eigentlich dazu gedacht sind Druck aufzubauen, behindern den Fluss des Granulats und führen zu einer dreidimensionalen Belastung, die das Granulat aufgrund seiner elastischen Eigenschaften absorbiert. Es wird dadurch gegen die Extruderwand gedrückt ohne weiter transportiert zu werden, was zu einer erhöhten Reibung führt. Das muss beachtet werden, wenn man das Verhalten des Granulats bei der Devulkanisation im Extruder verstehen will. Ein großer Teil dieser Veröffentlichung befasst sich daher mit dem Einfluss dieses Sachverhalts auf die Auswahl der geeigneten Schneckenkonfiguration. Aus diesem Grund wurde der Extruder auch nicht im für thermoplastische Materialien üblichen starve-fed-Modus betrieben. Stattdessen wurde über dem Extruder ein Einfülltrichter montiert, über den das gesamte Reifengranulat kontinuierlich zugegeben wurde. Um die Verweilzeit des Granulats im Extruder zu erhöhen, wurde eine verlängerte Düse (100 mm) mit einem rechteckigen Querschnitt (20 mm x 40 mm) und abgerundeten Ecken verwendet (Abb. 3).

Die Umdrehungsgeschwindigkeiten der Schnecke lagen zwischen 10 min<sup>-1</sup> und 30 min<sup>-1</sup>. Bei einer Geschwindigkeit von 20 min<sup>-1</sup> betrug die Verweilzeit des Devulkanisats im Extruder inklusive verlängerter Düse etwa 12 min. Bei dieser Geschwindigkeit erreichte der Druck im Extruder abhängig von den Temperatureinstellungen im Devulkanisationsbereich (zwischen 180 °C und

Abb. 4: Extruder mit Einfülltrichter, Entlüftung und Stickstoffzufuhr

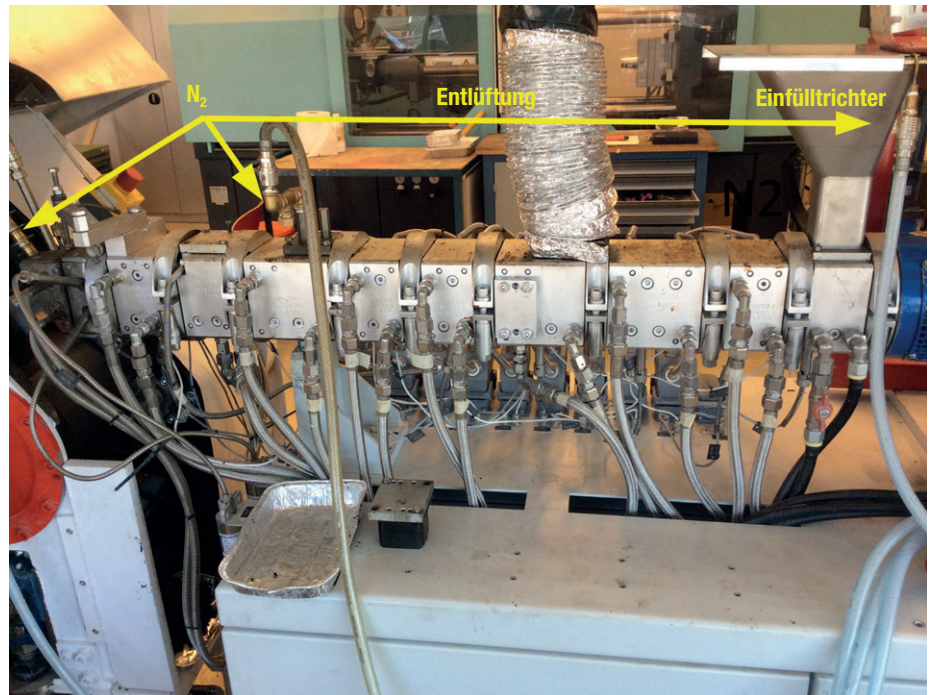
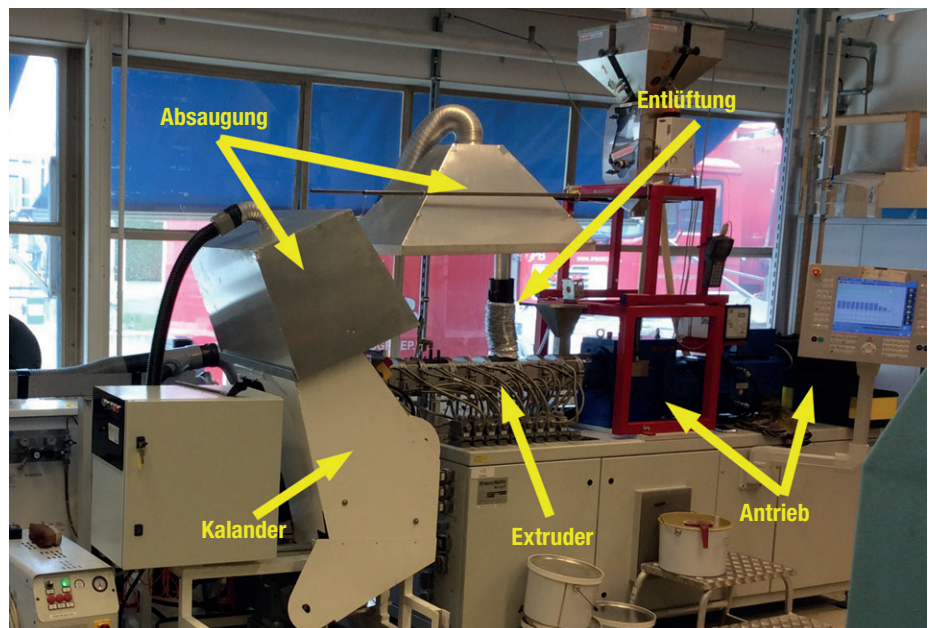


Abb. 5: Extruder mit Kalander und Entlüftung



220 °C) einen Maximalwert von 5,4 MPa. Die Drücke vor der Düse variierten zwischen 1,9 MPa und 5,4 MPa, der Füllgrad des Extruders lag zwischen 19 % und 66 %. Dabei konnte kein direkter Zusammenhang zwischen diesen Parametern und der Konzentration an Prozessöl oder DBD festgestellt werden.

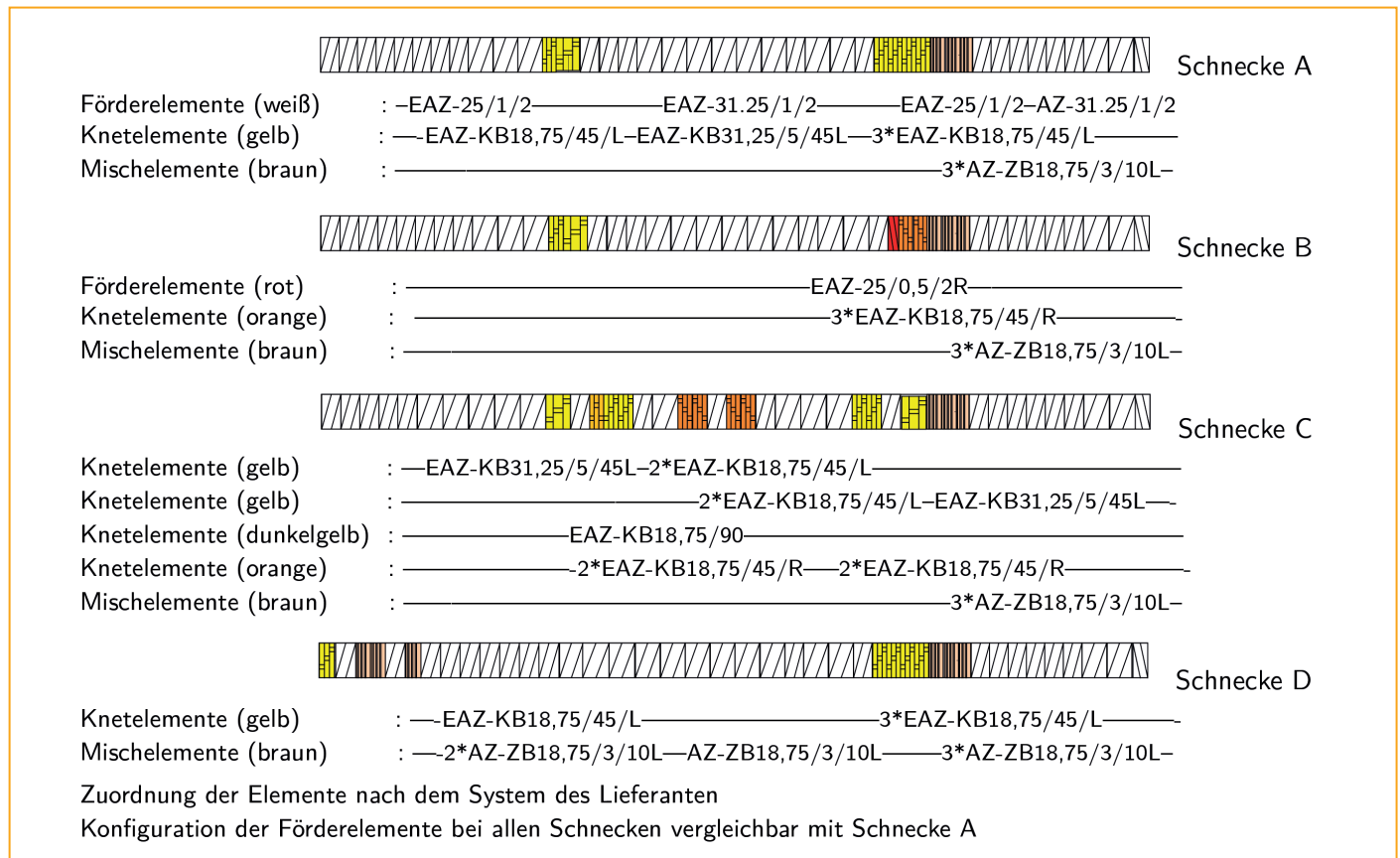
Um den oxidativen Abbau während der Devulkanisation zu verringern, wurde der Extruder mit einer Stickstoffzufuhr ausgerüs-

tet. Diese erfolgte über den Einfülltrichter, am Ende der Devulkanisationszone und unmittelbar vor der verlängerten Düse (Abb. 2 bis Abb. 4).

Nach der Extrusion wurde das Devulkanisat in einen speziell für diesen Zweck konstruierten gekühlten Kalander überführt [23], der sich unmittelbar an den Extruder anschließt (Abb. 5). Dieses Walzwerk diente weniger dazu, noch einmal Scherkräfte in das Material einzubringen, sondern haupt-



Abb. 6: Für die Devulkanisation mit Dibenzamidodiphenylsulfid (DBD) angepasste Schneckenkonfigurationen mit unterschiedlichen Scherungen in der Mischzone.



sächlich dazu, das Devulkanisat sehr schnell und effizient auf 40 °C bis 60 °C herunter zu kühlen, um eine Oxidation zu vermeiden. Dabei wurde die Temperatur des Kühlwassers überwacht, um eine Kondensation auf den Rollen zu vermeiden. Bei einer Schneckengeschwindigkeit von 20 min<sup>-1</sup> hat die Devulkanisationsanlage eine Kapazität von 2 kg/h.

Das Vulkansiationshilfsmittel DBD musste zunächst aufgeschmolzen und in der Mischzone des Extruders gründlich mit dem Reifengranulat vermischt werden (Abb. 2). In diesem Bereich musste das Material geknetet werden. Anschließend wurde die Scherung in der Devulkanisationszone angepasst. Als erste Modifizierung wurde die in Abbildung 6 gezeigte Schneckenkonfiguration A gewählt, um die Scherung in der Mischzone zu erhöhen. Die Konfiguration B sollte die Verweildauer in der Mischzone erhöhen, um die Quellungszeit zu verlängern. Konfiguration C enthielt mehr Knetelemente im Mischbereich, um eine bessere Durchmischung zu erzielen. Außerdem wurden einige gegenfördernde Knetele-

mente in der Devulkanisationszone eingefügt. Konfiguration D stellt eine Modifizierung von Konfiguration A dar, bei der durch zusätzlich Knet- und Scherelemente in der Druckaufbauzone des Extruders eine stärkere Scherung erreicht wird. Erste Versuche zeigten, dass der Antrieb für die Schneckenkonfigurationen B und C aufgrund der erhöhten Friktion durch die Elemente mit rechter Neigung offenbar kein ausreichend hohes Drehmoment liefern konnten. Für die weiteren Versuche wurden daher die Konfigurationen A und D ausgewählt.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Devulkanisationsparameter

Folgende Einstellungen wurden bei der Optimierung der Extrusionsparameter für die Devulkanisation berücksichtigt:

- Schneckenkonfiguration: für alle weiteren Versuche wurden die Schneckenkonfigurationen A und D ausgewählt
- Temperaturprofil des Extruders: Der Ex-

truder lässt sich in drei Zonen unterteilen (Abb. 2). Für jede Zone wurde die optimale Temperatur ermittelt:

- Einzugs- und Mischzone: Hier müssen Reifengranulat und DBD soweit erhitzt werden, dass eine optimale Migration des DBD in das Reifengranulat gewährleistet ist, aber zugleich das Einsetzen der Devulkanisation verhindert wird. Letzteres könnte durch hohe Anfangskonzentrationen des DBD zum Abbau des Polymers führen. Versuche wurden bei 100 °C, 130 °C und 220 °C durchgeführt.
- Devulkanisationszone: Einstellung der optimalen Devulkanisationstemperatur, Versuche wurden bei 180 °C, 220 °C, 230 °C und 240 °C durchgeführt.
- Druckaufbauzone: Anpassung der Temperatureinstellungen, um zu hohe Temperaturen durch Druckaufbau im Devulkanisat zu vermeiden, Versuche wurden bei 100 °C, 120 °C, 150 °C, 170 °C, 190 °C und 220 °C durchgeführt.
- Am wichtigsten ist die Verweildauer in



Abhängigkeit von den verschiedenen Schneckengeschwindigkeiten. Versuche wurden mit Schneckengeschwindigkeiten von 10 min<sup>-1</sup>, 17 min<sup>-1</sup>, 20 min<sup>-1</sup>, 30 min<sup>-1</sup> und 34 min<sup>-1</sup> durchgeführt.

- Zugabe von Dibenzamidodiphenyl-disulfid (DBD): um die Mindestkonzentration für die Devulkanisation zu ermitteln, wurden Versuche mit 3,9 Gew.-%, 5 Gew.-% und 6,85 Gew.-% bezogen auf die Reifengranulatmenge durchgeführt. Diese Werte wurden aus den von Saiwari verwendeten DPDS-Konzentrationen abgeleitet [12].
- Prozessölkonzentration: Das Prozessöl ist notwendig, um das Reifengranulat geschmeidiger zu machen und die Migration des Devulkanisationsreagenz zu erleichtern. Ein unerwünschter Nebeneffekt ist, dass es zugleich die Scherung während der Devulkanisation verringert. Versuche wurden mit Konzentrationen von 0 Gew.-%, 2 Gew.-%, 5 Gew.-% und 6 Gew.-% bezogen auf das Reifengranulat durchgeführt.
- TDTBP als Stabilisator wurde in einer Konzentration von 1 Gew.-% bezogen auf das Reifengranulat eingesetzt.

Dieser Beitrag wird in GAK Gummi Fasern Kunststoffe 12/2021 mit folgenden Kapiteln fortgesetzt:

- 4.2 Distributives Mischen von Devulkanisationsreagenz und Granulatpartikeln im Extruder
- 4.3 Screening von Optimierungskriterien für die Devulkanisationsqualität
- 4.4 Optimierung der Prozessparameter für die Devulkanisation auf Basis der Zugfestigkeit
- 4.5 Vorstellung der optimalen Prozessparameter für die Devulkanisation
- 4.6 Vorteile der Nachbearbeitung auf dem Walzwerk
- 4.7 Ausblick auf weitere Möglichkeiten zur Verbesserung des Prozesses

## 5 Zusammenfassung

Anhang A kann kostenlos unter [service@gupta-verlag.de](mailto:service@gupta-verlag.de) als pdf angefordert werden.

## Literatur

- [1] E. Musacchi, Recycled Tyre Materials. In Proceedings of the 4th Annual International Recycled Rubber Products (R2P) Technology Conference, Amsterdam, The Netherlands, 24-25 September 2015.
- [2] M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka, H. Janik, A. Balas, Progress in used tyres management in the European Union: A review, *Waste Manag.*, 32 (2012), 1742-1751.
- [3] Institute of Scrap Recycling Industries Inc. Factsheet Tires USA, *Rubber Chem. Technol.* 2016, available online: <https://www.isri.org/recycling-commodities/tires-and-rubber> (accessed on 9 September 2021).
- [4] M. A. Golub, Thermal Rearrangements of Unsaturated Polymers. *Rubber Chem. Technol.* 51 (1978), 677-685.
- [5] A. Ahagon, Y. Kirino, Mechanochemical Reactions in Black-Filled SBR Vulcanizates under Large Deformation, *Rubber Chem. Technol.* 80 (2007), 265-278.
- [6] N. M. Huntink, R. N. Datta, J. W. M. Noordermeer, Addressing Durability of Rubber Compounds. *Rubber Chem. Technol.* 77 (2004), 476-511.
- [7] V. V. Rajan, W. K. Dierkes, J. W. M. Noordermeer, R. Joseph, Model compound studies on the de-vulcanization of natural rubber using 2,3-dimethyl-2-butene, *Rubber Chem. Technol.* 78 (2005), 572-587.
- [8] E. Markl, M. Lackner, Devulcanization technologies for recycling of tire-derived rubber: A review, *Materials* 13 (2020), 1246.
- [9] S. Saiwari, W. K. Dierkes, J. W. M. Noordermeer, De-vulcanization of Whole Passenger Care Tire Material, *KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe* 66 (2013), 20-25.
- [10] P. Sutanto, Development of a Continuous Process for EPDM De-Vulcanization in an Extruder, Ph.D. Thesis, Groningen University, Groningen, The Netherlands, 2006.
- [11] S. Saiwari, Post-consumer tires back into new tires. Ph.D. Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands 2013.
- [12] S. Saiwari, J. W. van Hoek, W. K. Dierkes, L. E. A. M. Reuvekamp, G. Heideman, A. Blume, J. W. M. Noordermeer, Upscaling of a batch de-vul-

canization process for ground car tire rubber to a continuous process in a twin-screw extruder, *Materials* 9 (2016), 724.

- [13] M. A. L. Verbruggen, L. van der Does, W. K. Dierkes, J. W. M. Noordermeer, Experimental validation of the Charlesby and Horikx model applied to de-vulcanization of sulfur- and peroxide-cured vulcanizates of NR and EPDM. *Rubber Chem. Technol.* 89 (2016), 671-688.
- [14] J. W. van Hoek, G. Heideman, J. W. M. Noordermeer, W. K. Dierkes, A. Blume, Implications of the use of silica as active filler in passenger car tire compounds on their recycling options. *Materials* 12 (2019), 725.
- [15] R. E. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, Chapter 11: Temperature Distributions with More than One Independent Variable, in: *Transport Phenomena*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1960, 352-361.
- [16] J. M. Bouvier, M. Gelus, Diffusion of Heavy Oil in a Swelling Elastomer. *Rubber Chem. Technol.* 59 (1986), 233-240.
- [17] *Thermal Properties of Polymers*, Netzsch Thermal Academy 2016, available online: <https://www.netzsch-thermal-academy.com/en/> (11. August 2016).
- [18] Technical Data Sheet Rubber Granulate, Genan GmbH 2014, available online: [https://www.genan.eu/wp-content/uploads/2020/11/2020\\_2\\_tds\\_genan-medium-granulate\\_uk.pdf](https://www.genan.eu/wp-content/uploads/2020/11/2020_2_tds_genan-medium-granulate_uk.pdf) (30. November 2020).
- [19] M. M. Horikx, Chain scissions in a polymer network. *Rubber Chem. Technol.* 29 (1956), 1166-1173.
- [20] P. J. Flory, J. Rehner, Statistical Mechanics of Cross-Linked Polymer Networks in Rubberlike Elasticity. *J. Chem. Phys.* 11 (1943), 512-520.
- [21] G. Kraus, Swelling of Filler-Reinforced Vulcanizates. *J. Appl. Polym. Sci.* 7 (1963), 861-871.
- [22] M. Porter, Structural Characterization of Filled Vulcanizates Part 1. Determination of the Concentration of Chemical Crosslinks in Natural Rubber Vulcanizates Containing High Abrasion Furnace Black, *Rubber Chem. Technol.* 40 (1967), 866-882.
- [23] P. B. Schelling, Rubber Recycling Calender. Bachelor's Thesis, University of Applied Sciences Windesheim, Zwolle, The Netherlands, 2015.
- [24] L. Donald, Dispersive Mixing of Solid Additives, in: *Mixing and Compounding of Polymers Theory Practice*; Manas-Zloczower, I.F., Ed.; Hanser Publications: München, Germany, 2009, 181-215.

# Reduzierung der Faserstaubentstehung beim mechanischen Recycling

## Zerkleinern von carbonfaserverstärkten Polycarbonaten mit unterschiedlichen Verstärkungsformen

L. Tölle, M. Hopp, T. Hoemann

*Faserverstärkte Kunststoffe sind aufgrund ihrer guten gewichtsspezifischen, mechanischen Eigenschaften ein beliebter Werkstoff mit wachsender Nachfrage insbesondere im Bereich der Leichtbauanwendungen. Um thermoplastische, faserverstärkte End-of-Life-Produkte zu recyceln, stellt der mechanische Recyclingprozess eine nachhaltige Lösung dar, da Thermoplaste einfach zerkleinert, erneut aufgeschmolzen und somit zu neuen Anwendungen verarbeitet werden können. Eine Herausforderung dabei ist die Faserstaubbildung während der Zerkleinerung, da diese einerseits den Produktionsprozess stört und andererseits ein potenzielles Gesundheitsrisiko darstellt. Die entstehenden Faserbruchstücke können alveolengängig und potenziell toxisch sein. Ein Hauptziel dieser Arbeit besteht deshalb darin, durch eine gezielte, materialspezifische Wahl der Zerkleinerungsparameter die Faserstaubentstehung zu reduzieren. Hierzu wird der Einfluss unterschiedlicher Carbonfaser-Verstärkungen (Gewebe- und Vliesverstärkung) in Polycarbonat-Organoblechen, sowie der Einfluss der Aufgabegutgröße, der Aufgabemenge und der Drehzahl während der Zerkleinerung in einer Schneidmühle auf die Faserstaubbildung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass eine höhere Rotationsgeschwindigkeit und eine Reduzierung der Aufgabegröße für beide Verstärkungsarten die Faserstaubbildung erhöht, wohingegen die Faserlängenverteilung in dem Faserstaub von der Art der Faserverstärkung beeinflusst wird. Eine höhere Aufgabemenge führt zu einer verringerten Faserstaubbildung und für die gewebeverstärkten Organobleche ebenfalls zu einer Abnahme der kurzen Fasern.*

*Due to their good specific weight related mechanical properties fibre reinforced plastics are a popular material with rising demand especially in lightweight applications. In order to recycle thermoplastic fibre reinforced end-of-life products, the mechanical recycling process represents a sustainable solution as thermoplastics can easily be shredded, remelted and processed into new applications. One challenge here is the formation of fibre dust during shredding, as it disturbs the production process on the one hand and poses a potential health risk on the other hand. The arising fibre fragments can be alveolar and thus potentially toxic. Hence, it is a main goal of this research to reduce the fibre dust formation with a systematic and material specific choice of the shredding parameters. Therefore, the influence of different types of carbon fibre reinforcement (fabric and non-woven) of polycarbonate organic sheets, the feedstock size, the throughput and the rotational speed during the cutting in a cutting mill are varied and their effect on the fibre dust formation is investigated. The results show that a higher rotational speed and a reduction of the feedstock size increase the fibre dust formation for both types of reinforcement, whereas the fibre length distribution in the fibre dust is dependent on the type of reinforcement. A higher throughput leads to reduced fibre dust formation and, for the fabric-reinforced organic sheets, also to a decrease in short fibres.*

M. Sc. Lisa Tölle  
lisa.toelle@ktp.uni-paderborn.de  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Dr.-Ing. Matthias Hopp  
Stellvertretender Leiter - Oberingenieur  
Theresa Hoemann, Studentin

Universität Paderborn, Kunststofftechnik  
<https://ktp.uni-paderborn.de/>

Alle Abbildungen und Tabellen wurden, sofern nicht anders angegeben, freundlicherweise von den Autoren zur Verfügung gestellt.

## 1 Einleitung

Thermoplastische Faser-Matrix-Halbzeuge, sogenannte Organobleche, werden insbesondere in den Bereichen Automobil- und Flugzeugbau eingesetzt. Aufgrund ihrer guten gewichtsspezifischen, mechanischen Eigenschaften besitzen Organobleche ein enormes Leichtbaupotenzial. Ein wesentliches Ziel der Leichtbauanwendungen ist die Ressourcenschonung und die Reduktion von Emissionen, welches durch ein geringeres Baugewicht und eine Funktionsintegration erreicht werden kann. Besonders im Hinblick auf die Einsparung von Ressourcen ist es von essenzieller Bedeutung sich bereits jetzt mit der

Wiederverwertung von End-of-life-Produkten auseinander zu setzen.

Eine nachhaltige Möglichkeit zur Wiederverwertung von faserverstärkten Thermoplasten ist der mechanische Recyclingprozess, da diese ohne größeren Aufwand zerkleinert, erneut aufgeschmolzen und anschließend zu neuen Anwendungen verarbeitet werden können. Allerdings stellt die Zerkleinerung von faserverstärkten Kunststoffen eine Herausforderung dar, weil die Fasern splintern und es zu einer Faserstaubbildung kommen kann [1]. Der Faserstaub kann dabei den nachfolgenden Produktionsprozess beeinträchtigen. Weiterhin stel-

len die entstehenden Faserbruchstücke ein potenzielles Gesundheitsrisiko dar, da diese alveolengängig und somit potenziell toxisch sein können [2].

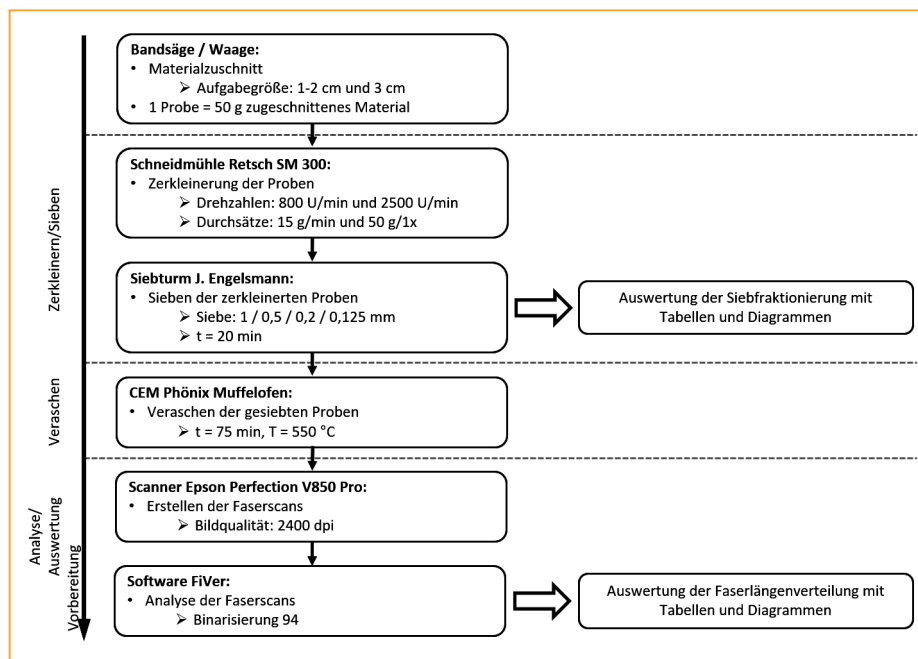
Aus Untersuchungen der Kunststofftechnik Paderborn zur Faserstaubentstehung während der Zerkleinerung von carbonfaserverstärkten Polycarbonaten ergeben sich Hinweise darauf, wie sich eine gezielte, materialspezifische Wahl der Zerkleinerungsparameter auf die Faserstaubentstehung auswirkt.

## 2 Material und Methoden

Für diese Untersuchungsreihe wurden zwei verschiedene Ausgangsmaterialien verwendet, welche von der Bond Laminates GmbH (Lanxess) zur Verfügung gestellt worden sind. Bei den beiden Materialien handelt es sich jeweils um Organobleche aus carbonfaserverstärktem Polycarbonat (Tepex dynalite 210fr-C221(x)) mit einer Plattendicke von 1 mm. Diese unterscheiden sich lediglich in der Verstärkungsart des Fasermaterials. Während das eine Material ausschließlich aus vollständig imprägnierten, übereinandergelegten Gewebeschichten besteht, ist das zweite Material eine Kombination aus einer Vlies- und Gewebeverstärkung. Der Verbund des zweiten Materials ist dabei so aufgebaut, dass das Vlies die Mittelschicht des Verbundes bildet, während die beiden Außenschichten jeweils aus einer Gewebelage bestehen. Die nachfolgenden Untersuchungen sind unterteilt in Vorbereitung, Zerkleinerung/Sieben, Veraschen und Analyse/Auswertung (Abb. 1).

Um eine konstante Größe und Masse des Ausgangsmaterials zu gewährleisten, wurden die Organobleche zunächst in rechteckige Stücke von 10 x 20 mm und 30 x 30 mm zugeschnitten und jeweils zu Proben mit 50 g zusammengefasst. Für die Zerkleinerung der Proben wurde die Schneidmühle SM 300 (Retsch GmbH) mit einem 6-Scheiben-Rotor und einer Siebgröße von 10 mm verwendet. Je nach gewählten Zerkleinerungsparametern (Tab. 1) wurde die Drehzahl zwischen 800 U/min und 2.500 U/min variiert, woraus sich Rotationsgeschwindigkeiten von 5,42 m/s sowie 16,95 m/s ergeben. Die Auf-

Abb. 1: Ablaufschema der experimentellen Untersuchungen



Tab. 1: Verwendete Zerkleinerungsparameter, die während der Untersuchung jeweils miteinander kombiniert werden

Aufgabegröße	Drehzahl	Aufgabemenge
10 x 20 mm	800 U/min	15 g/min
30 x 30 mm	2500 U/min	50 g/1x

gabemenge 15 g/min bildet eine stückweise Zerkleinerung in einem leeren Mahlraum ab, wohingegen die Aufgabemenge 50 g/1x bedeutet, dass die 50 g Proben auf einmal in den Mahlraum gegeben werden und somit die Situation mit vollem Mahlraum widerspiegelt.

Die Zerkleinerung wurde für jede Parameterkombination dreimal wiederholt, um den Einfluss von Prozessschwankungen zu reduzieren. Des Weiteren wurde der in der Mahlkammer verbleibende Staub nach jeder Zerkleinerung entfernt und dem Mahlgut zugeführt. Zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung wurden die zerkleinerten Proben mittels eines Siebturms mit den Siebgrößen 1 mm, 0,5 mm, 0,2 mm sowie 0,125 mm klassifiziert. Die einzelnen Proben wurden für je 20 min horizontal gesiebt.

Für die potenziell gesundheitsgefährdende Wirkung des Faserstaubs sind hauptsächlich die Faserabmessungen verantwortlich. Die sogenannten WHO-Fasern weisen eine Länge > 5 µm, einen Durchmesser < 3 µm

und ein Längen-Durchmesser-Verhältnis von mindestens 3:1 auf [3]. Um die im Faserstaub vorliegenden Fasergeometrien bestimmen zu können, wurden von der Siebfraktion < 0,125 mm die Fasern durch Pyrolyse vom Matrixmaterial getrennt. Das gesiebte Probenmaterial wurde bei 550 °C für 75 min im Muffelofen unter Argon-Atmosphäre verascht. Um die Faserlänge unter Zuhilfenahme einer grafischen Analyse bestimmen zu können, wurden die Fasern zunächst in Wasser suspendiert, ein Bild mit einem Flachbettscanner aufgenommen und mit der Software „FiVer“ (SKZ-KFE GmbH) ausgewertet.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

Zur besseren Übersichtlichkeit werden im Rahmen dieses Artikels lediglich ausgewählte Parameterkombinationen grafisch abgebildet und erläutert. Aus den Siebversuchen ergeben sich Partikelgrößenverteilungen, welche eine stetig steigende relative Häufigkeit mit zunehmender Partikelgröße abbilden. Dieser Verlauf ergibt sich für alle Parameterkom-



Abb. 2: Partikelgrößenverteilung des Mahlguts nach der Zerkleinerung von vlies- („V\_“) und gewebeverstärkten („G\_“) Organoblechen bei unterschiedlicher Drehzahl

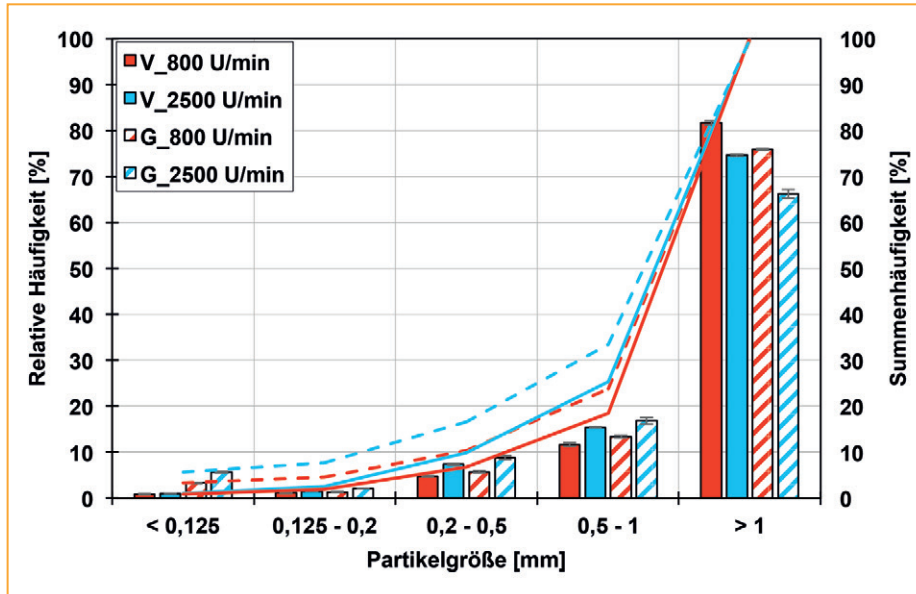
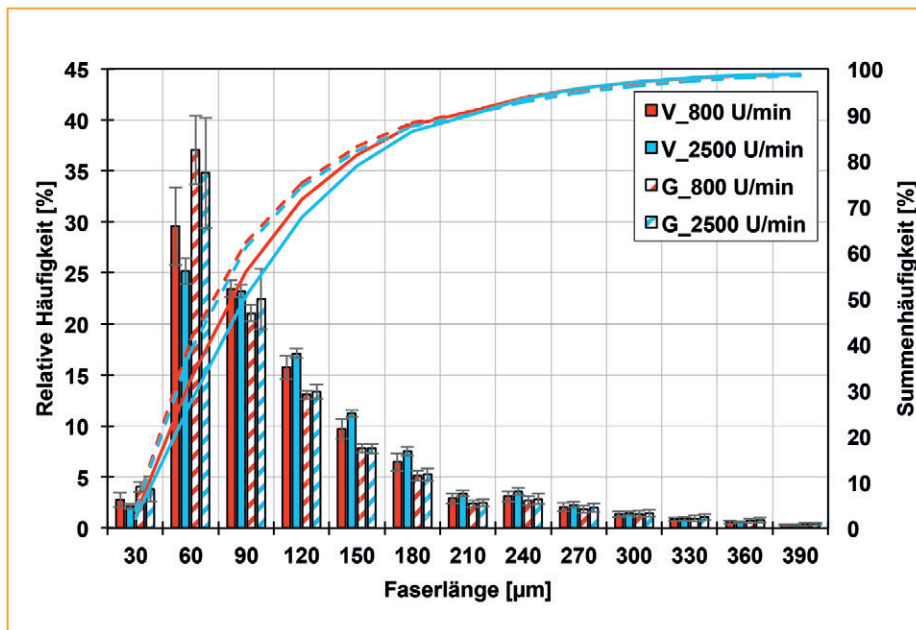


Abb. 3: Faserlängenverteilung der pyrolysierten Fasern nach der Zerkleinerung von vlies- („V\_“) und gewebeverstärkten („G\_“) Organoblechen bei unterschiedlicher Drehzahl



inationen. Die einzelnen relativen Häufigkeiten weisen lediglich geringfügige Unterschiede auf, welche den Gesamtverlauf jedoch nicht ändern. Es ist zu beachten, dass es sich bei den Partikelgrößenverteilungen (Abb. 2, 4 und 6) um eine Q<sub>3</sub>-Verteilung, also eine massebasierte Verteilung, handelt. Die Faserlängenverteilungen (Abb. 3, 5 und 7) hingegen stellen eine Q<sub>0</sub>-Verteilung dar, da diese die Anzahl der Fasern einer jeweiligen Länge darstellt. Im Folgenden wird näher auf die Ergebnisse infolge der Parametervariation eingegangen.

### 3.1 Einfluss der Drehzahl

In **Abbildung 2** ist eine typische Partikelgrößenverteilung dargestellt, welche sich durch das Sieben des Mahlguts von zerkleinerten gewebe- oder vliesverstärkten Organoblechen bei einer Rotordrehzahl von 800 U/min oder 2.500 U/min ergeben hat. Die Aufgabegröße beträgt 30 x 30 x 1 mm und die Aufgabemenge 15 g/min. Die Partikelgrößenverteilung weist die oben beschriebene typische Zunahme der Häufigkeit mit steigender Partikelgröße auf und zeigt, dass

60 – 80 % der Masse des Mahlguts auf eine Partikelgröße > 1 mm entfällt.

Der Vergleich der unterschiedlichen Verstärkungsarten zeigt einen höheren Feinanteil für die gewebeverstärkten Proben, was insbesondere in der Fraktion < 0,125 mm ersichtlich wird. In der Fraktion > 1 mm zeigt sich entsprechend der gegenläufige Trend, dass die Proben mit dem höchsten Feinanteil den geringsten Anteil grober Partikel aufweisen. Darüber hinaus ist eine Zunahme des Feinanteils mit zunehmender Rotordrehzahl unabhängig von der Verstärkungsart zu erkennen. Für die gewebeverstärkten Organobleche ergibt sich bei der Drehzahlerhöhung eine Zunahme des Feinanteils um 72,3 % in der Fraktion < 0,125 mm, wohingegen die vliesverstärkten Proben lediglich eine Zunahme um 19,5 % aufweisen. In den anderen Fraktionen ist der Einfluss der Drehzahl für die gewebeverstärkten Organobleche ebenfalls deutlich ausgeprägter als bei den vliesverstärkten Proben.

Die Zunahme des Feinanteils mit steigender Drehzahl kann dadurch erklärt werden, dass eine Zerkleinerung mit hoher Rotordrehzahl tendenziell zu einem spröden Bruchverhalten führt [5]. Bei einem Sprödbrech breitet sich die Rissfront unabhängig aus [6], sodass Bruchstücke unterschiedlicher Größe entstehen [7]. Dies hat zur Folge, dass das Mahlgut eine breitere Partikelgrößenverteilung mit hohem Feinanteil aufweist.

Die Faserlängenverteilung, welche in **Abbildung 3** dargestellt ist, weist ihr Maximum unabhängig von der Verstärkungsart und der Drehzahl in der Klassifizierung der Faserlänge von 30 – 60 μm auf. Die gewebeverstärkten Proben zeigen für beide Drehzahlen einen höheren Anteil kurzer Fasern als die vliesverstärkten Proben, was sich mit den Beobachtungen aus der Partikelgrößenverteilung deckt. Hier entsteht für die gewebeverstärkten Proben im Vergleich mit den vliesverstärkten Proben mehr Feinstaub, welcher zusätzlich kürzere Fasern enthält. Dies ist auf die Bindungsart des Gewebes zurückzuführen. Bei der Leinwandbindung liegt aufgrund der gegenseitigen Umschlingung von Kett- und Schussfäden die höchste Verkreuzungsdichte pro Flächeneinheit vor [4]. Das Gewebe besitzt demnach eine hohe Formsta-

bilität, sodass das Material eine höhere oder häufigere Belastung erfahren muss, bis es zum Bruch kommt. Dadurch erhöht sich die Verweilzeit im Mahlraum und somit auch die Wahrscheinlichkeit für unkontrollierte Brüche mit feineren Bruchstücken.

Weiterhin wird ersichtlich, dass eine steigende Rotordrehzahl die relative Häufigkeit kurzer Fasern insbesondere für die gewebeverstärkten Organobleche nicht wesentlich beeinflusst. Das bedeutet, dass die Masse des Faserstaubs mit steigender Drehzahl zunimmt, aber die Faserlängenverteilung des Staubs unverändert bleibt. Für die vliesverstärkten Organobleche ist eine Tendenz zu einer höheren Anzahl kurzer Fasern bei geringerer Drehzahl zu erkennen. Diese Tendenz ist gegenläufig zu dem Einfluss der Drehzahl auf die Partikelgrößenverteilung. Auch wenn dieser Zusammenhang aufgrund der teils hohen Standardabweichungen in der Faserlängenverteilung lediglich als Tendenz angesehen werden kann, wiederholt sich diese Beobachtung auch bei anderen Aufgabegrößen (Abb. 4 und 5) sowie bei anderen Aufgabemengen (Abb. 6 und 7). Bei höherer Drehzahl scheinen die Fasern durch die erhöhte Scherung vermehrt aus dem Vlies herausgelöst zu werden und somit als längere Fasern im Mahlgut zu verbleiben. Dies wird in dem Gewebe durch die hohe Formstabilität unterbunden.

Für die folgende Darstellungen des Einflusses der Aufgabegröße und der Aufgabemenge werden lediglich der Feinanteil beim Sieben (bis 0,5 mm) und die kurzen Fasern (bis 90 µm) der jeweiligen Verteilungen hervorgehoben.

### 3.2 Einfluss der Aufgabegröße und der Drehzahl

Der Einfluss der Aufgabegröße bei einer Aufgabemenge von 15 g/min auf die Partikelgrößenverteilung ist in **Abbildung 4** für verschiedene Drehzahlen dargestellt. Eine Reduzierung der Aufgabegröße führt sowohl für beide Materialien als auch für beide Drehzahlen zu einer Erhöhung des Feinanteils, insbesondere in der Fraktion < 0,125 mm. Hier steigt der Feinanteil bei 2.500 min<sup>-1</sup> für die gewebeverstärkten Organobleche um 34,6 % und für die vliesver-

Abb. 4: Einfluss der Aufgabegröße und der Drehzahl auf die Partikelgrößenverteilung von vlies- („V\_“) und gewebeverstärkten („G\_“) Organoblechen

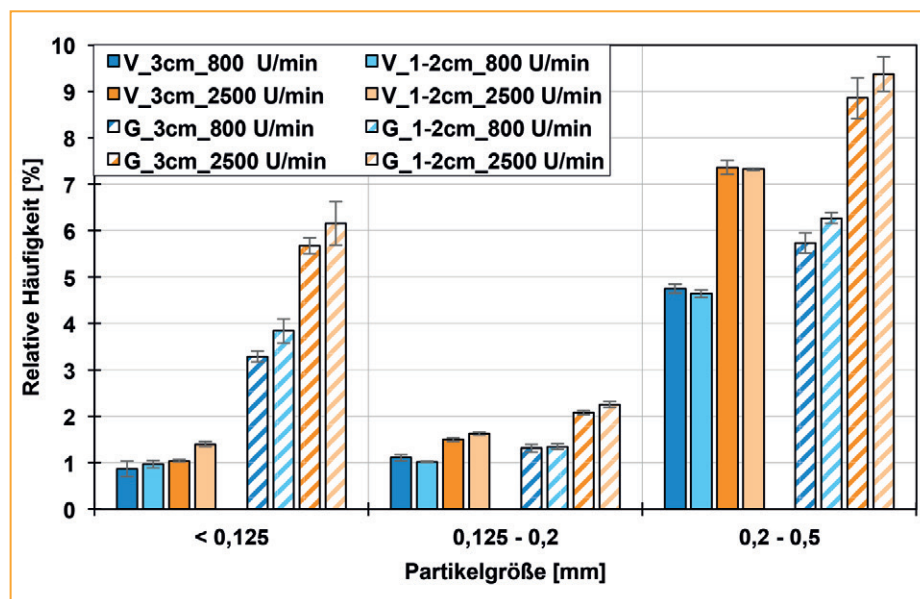
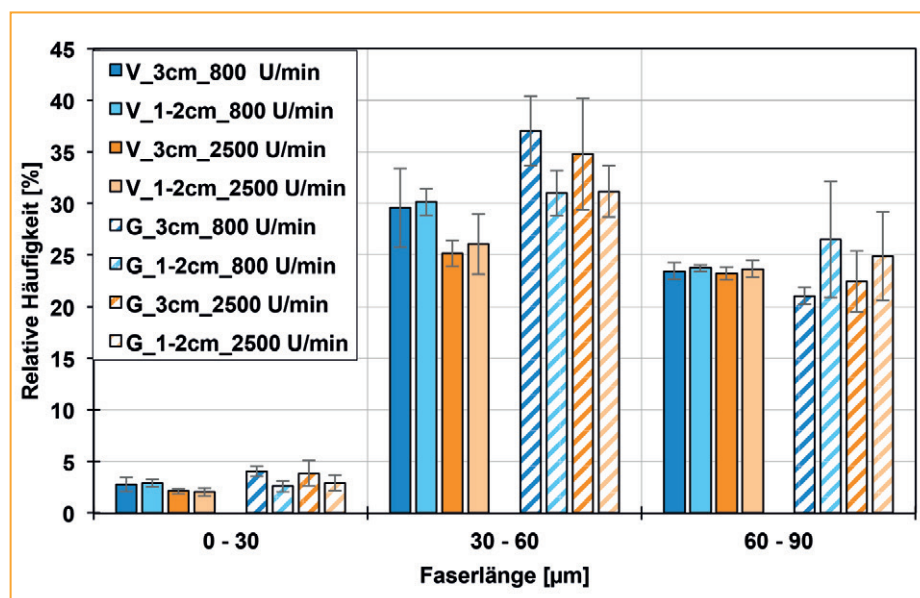


Abb. 5: Einfluss der Aufgabegröße und der Drehzahl auf die Faserlängenverteilung von vlies- („V\_“) und gewebeverstärkten („G\_“) Organoblechen

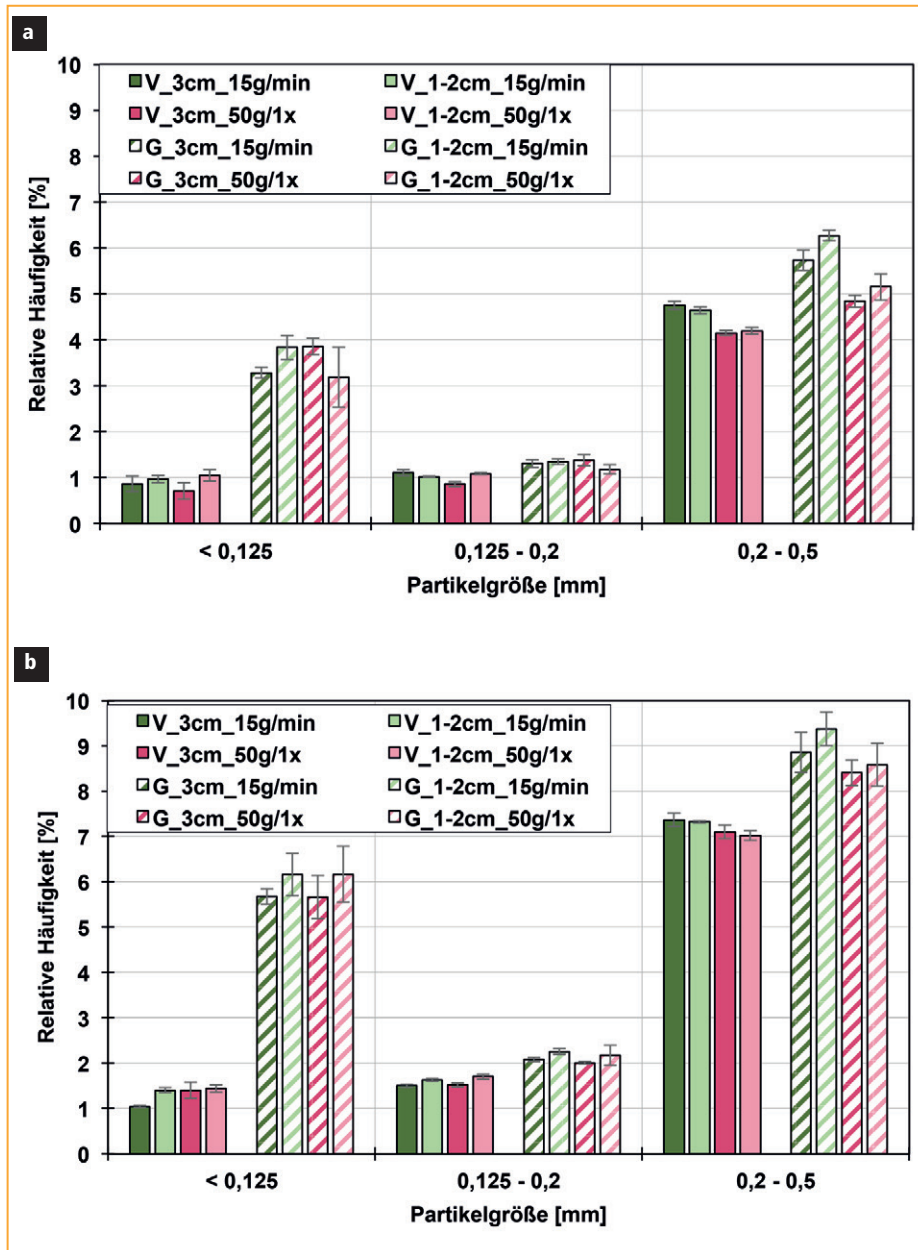


stärkten Organobleche um 9,8 %. Der Einfluss der Aufgabegröße zeigt sich demnach stärker für die gewebeverstärkten Proben. Wie bereits zuvor beim Einfluss der Drehzahl beschrieben, neigen die gewebeverstärkten Proben generell zu einem vermehrten Zerbrechen in kleinere Faserstücke, sodass diese Tendenz ebenfalls bei der kleineren Aufgabegröße ersichtlich wird. Um bei der kleineren Aufgabegröße das gleiche Aufgabegewicht zu erreichen, wird eine höhere Anzahl an zugeschnittenen Materialstücken in den Mahlraum gegeben. Dies hat demnach zur Folge, dass bei der kleineren Aufgabegröße

eine zusätzliche Materialbelastung durch Zunahme des Pralls und des Stoßes der Partikel im Mahlraum auftritt, welche ebenfalls in einer Zunahme des Feinanteils im Vergleich zu der größeren Aufgabegröße resultiert.

Weiterhin zeigt sich in **Abbildung 4** auch für die geringere Aufgabegröße eine Zunahme des Feinanteils mit steigender Drehzahl, wie dies bereits für die größere Aufgabegröße in **Abbildung 2** erläutert worden ist. Auch für die Faserlängenverteilung zeigen sich ähnliche Zusammenhänge wie bei der größeren Aufgabegröße. Bei den vliesverstärkten

Abb. 6: Einfluss der Aufgabegröße und der Aufgabemenge auf die Partikelgrößenverteilung bei verschiedenen Drehzahlen von vlies- („V\_“) und gewebeverstärkten („G\_“) Organoblechen; a) 800 U/min, b) 2.500 U/min



Organoblechen kann für die kleinere Aufgabegröße erneut festgestellt werden, dass mit zunehmender Drehzahl weniger kurze Fasern entstehen. Für die gewebeverstärkten Organobleche zeigt sich erneut kein Einfluss der Drehzahl auf die Faserlängenverteilung.

In **Abbildung 5** sind die Einflüsse der Aufgabegröße bei unterschiedlicher Drehzahl auf die Faserlängenverteilung der beiden unterschiedlichen Materialien bei einer Aufgabemenge von 15 g/min dargestellt. Während bei den vliesverstärkten Proben kein signifikanter Einfluss der Aufgabegröße auf

die Faserlängenverteilung zu erkennen ist, führt eine Verringerung der Aufgabegröße bei den gewebeverstärkten Proben zu einem geringeren Anteil kurzer Fasern (< 60 µm). Ein Einfluss der Aufgabegröße auf die Entstehung des Feinanteils wurde ebenfalls von Shuaib und Mativenga für glasfaserverstärkte Duroplaste gezeigt, jedoch war hier der Effekt im Zusammenhang mit einer verringerten Siebmaschenweite zu beobachten [8], sodass der Einfluss der Aufgabegröße zwar nicht allein dargestellt wurde, jedoch unterstützt die Arbeit die hier ermittelten Zusammenhänge.

### 3.3 Einfluss der Aufgabegröße und der Aufgabemenge bei verschiedenen Drehzahlen

Die Partikelgrößenverteilungen in **Abbildung 6** zeigen den Einfluss der Aufgabegröße sowie der Aufgabemenge bei verschiedenen Drehzahlen. Bei den vliesverstärkten Organoblechen kann bei einer Drehzahl von 800 U/min (**Abb. 6a**) eine Abnahme des Feinanteils mit zunehmender Aufgabemenge für beide Aufgabegrößen beobachtet werden, wobei der Effekt bei der größeren Aufgabegröße von 3 cm stärker ausgeprägt ist. Bei einer Drehzahl von 2.500 U/min (**Abb. 6b**) ist in den beiden kleinsten Fraktionen kein eindeutiger Einfluss der Aufgabemenge zu erkennen. Die Abnahme des Feinanteils aufgrund der zunehmenden Aufgabemenge wird hier lediglich in der Fraktion 0,2 – 0,5 mm deutlich. Gleiches gilt für die gewebeverstärkten Organobleche, hier ist ebenfalls nur ein eindeutiger Zusammenhang für die größere Partikelgröße erkennbar. Die Tendenz zu einer Abnahme des Feinanteils mit zunehmender Aufgabemenge ist unabhängig von der Aufgabegröße und der Drehzahl für diese Fraktion zu beobachten. Ein möglicher Erklärungsansatz könnte in einem gegenseitigen Abstützen des Materials untereinander und in einem effizienteren Zerkleinern liegen, sodass sich trotz zusätzlicher Prallbeanspruchung ein geringerer Feinanteil im Mahlgut ergibt. Es ist jedoch zu beachten, dass insbesondere für die gewebeverstärkten Proben teils recht hohe Standardabweichungen auftreten, welche eine endgültige Schlussfolgerung der Zusammenhänge in den vorliegenden Ergebnissen nicht möglich macht. Hierzu müssen die Versuche mit einer höheren Probenanzahl wiederholt werden.

Für die Faserlängenverteilungen in Abhängigkeit der Aufgabegröße und der Aufgabemenge (**Abb. 7**) ergeben sich unterschiedliche Zusammenhänge für die jeweiligen Verstärkungstypen. Die gewebeverstärkten Organobleche weisen tendenziell mit zunehmender Aufgabemenge eine Abnahme an kurzen Fasern auf – unabhängig von der Drehzahl und der Aufgabegröße. Die vliesverstärkten Organobleche hingegen zeigen eine Zunahme an kurzen Fasern mit höherer Aufgabemenge, ebenfalls für beide Aufgabegrößen und unabhängig von der Drehzahl. Allerdings sind in



diesem Fall ebenfalls die hohen Standardabweichungen, insbesondere bei den gewebeverstärkten Proben, zu berücksichtigen. Für eine konkretere Beschreibung des Einflusses der Aufgabemenge auf die Faserlängenverteilung müssen weitere Proben untersucht werden. Erste weiterführende Untersuchungen an den vliesverstärkten Organoblechen mit einer Aufgabemenge von 100 g/1x unterstützen jedoch die hier gezeigten Effekte und weisen einen reduzierten Feinanteil auf.

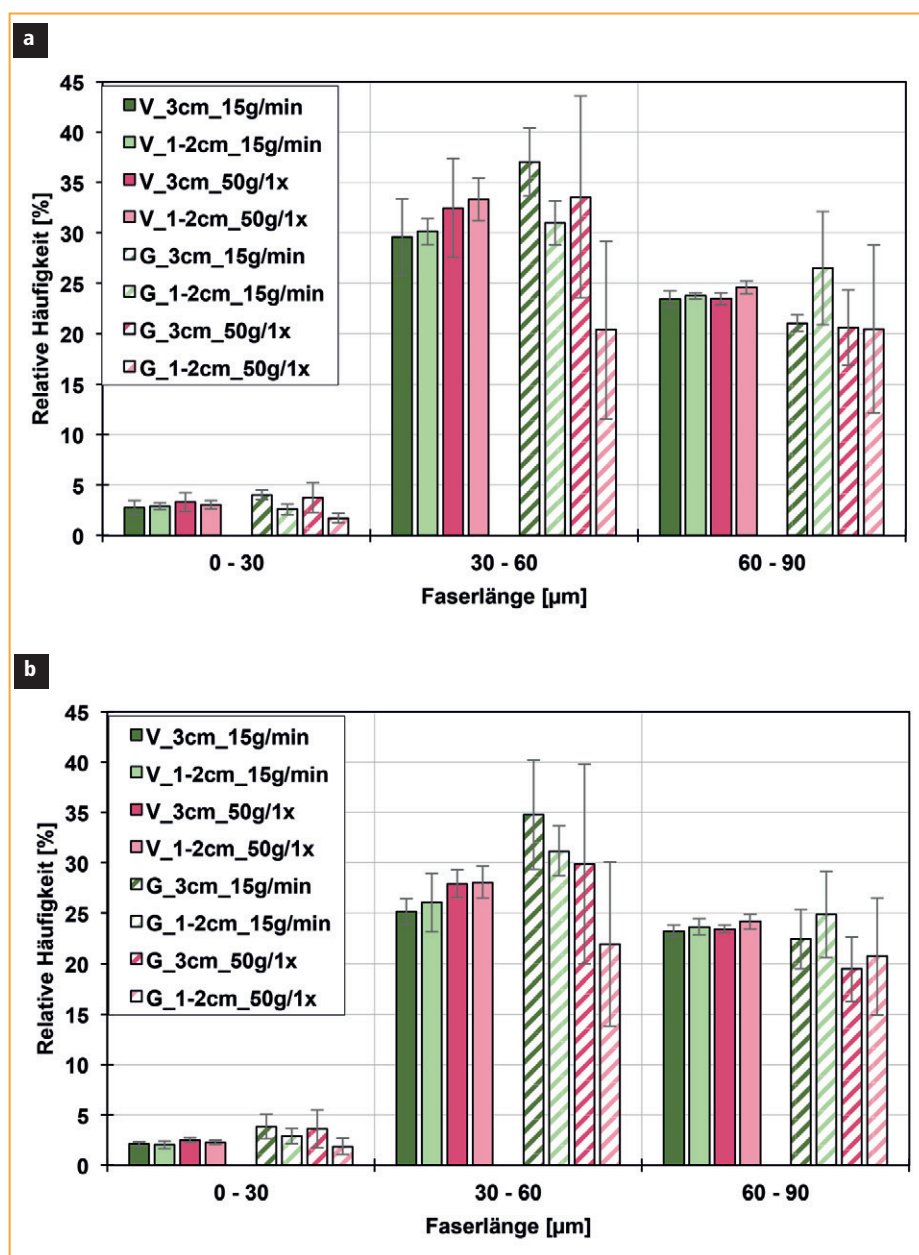
#### 4 Schlussfolgerung und Ausblick

Im Hinblick auf die Weiterverarbeitung des Mahlguts und die potenzielle Gesundheitsgefährdung ist eine geringe Staubentwicklung und das Vermeiden von lungengängigen Faserbruchstücken maßgeblich. Die Untersuchungen haben allerdings aufgezeigt, dass eine geringe Staubentwicklung mit einem hohen Anteil kurzer Fasern einhergehen kann. Zwar entstehen bei der Zerkleinerung teilweise Faserbruchstücke < 30 µm, ob diese jedoch alveolengängig (< 5 µm) sind, konnte mit der bisherigen Faserlängenanalyse nicht ermittelt werden. Untersuchungen mit einem höher auflösenden Mikroskop zur Ermittlung der kurzen Faserbruchstücke stehen noch aus. Solange die Untersuchungen nichts Gegenteiliges ergeben, ist davon auszugehen, dass eine Reduzierung des Feinanteils gerade auch im Hinblick auf eine zukünftige Verstärkungswirkung angestrebt werden sollte. Entsprechend kann aus diesen Untersuchungen für die Zerkleinerung beider Materialien empfohlen werden, eine geringe Drehzahl (800 U/min), eine höhere Aufgabegröße (30 x 30 x 1 mm) sowie eine größere Aufgabemenge (50 g/1x) zu verwenden, um den Feinanteil im Mahlgut zu reduzieren.

#### 5 Dank

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens, welche aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) erfolgt. Zudem bedanken wir uns für die gute Zusammenarbeit mit den Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss sowie dem

Abb. 7: Einfluss der Aufgabegröße und der Aufgabemenge auf die Faserlängenverteilung bei verschiedenen Drehzahlen von vlies- („V\_“) und gewebeverstärkten („G\_“) Organoblechen; a) 800 U/min, b) 2.500 U/min



Projektpartner, dem Institut für Prävention und Arbeitsschutz (IPA).

#### 6 Literatur

[1] M. Mattenklott, R. van Gelder, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 9 (2019), S. 317.  
 [2] G. A. Westphal, C. Monsé, D. Walter, T. Brüning, J. Bünger, IPA Journal 1 (2019), S. 10.  
 [3] GMBI, Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe: TRGS 905 (2016).

[4] C. Kowtsch, G. Hoffmann, R. Kleicke, in Textile Werkstoffe für den Leichtbau, Ed. C. Cherif, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 171.  
 [5] M. Stieß, Mechanische Verfahrenstechnik, Springer Berlin Heidelberg, 1994.  
 [6] D. Woldt, Dissertation, Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2004.  
 [7] L. Wolters, L. von Marvick, K. Regel, V. Lackner, B. Schäfer (Eds.), Kunststoff-Recycling: Grundlagen – Verfahren – Praxisbeispiele, Hanser, München, 1997, S. 57.  
 [8] N. A. Shuaib, P. T. Mativenga, Procedia CIRP 48 (2016), S. 134.

1 Mischrohstoffe und Hilfsstoffe

1.1 Polymerrohstoffe



**Biesterfeld**  
 Biesterfeld Performance Rubber  
 Biesterfeld Performance Rubber GmbH  
 Ferdinandstr. 41  
 20095 Hamburg  
 Tel.: 040/32008-263  
 Fax: 040/32008-478  
 E-Mail: rubber@biesterfeld.com  
 Web: www.biesterfeld-performancerubber.com



**Kuraray Europe GmbH**  
 Philipp-Reis-Str. 4  
 65795 Hattersheim  
 Germany  
 Phone: +49 69 305 85300  
 Web: www.kuraray.eu  
 Contact: www.kuraray.eu/contact

**ultraPOLYMERS**  
 a Spirit of Partnership

**Ultrapolymers Deutschland GmbH**  
 Unterer Talweg 46  
 D-86179 Augsburg  
 Tel. +49 (0) 8 21/2 72 33-0  
 Fax +49 (0) 8 21/2 72 33-80  
 E-Mail info@ultrapolymers.de  
 www.ultrapolymers.com

1.1 Polymerrohstoffe

BR, HSR und SBR

**Avokal** Avokal GmbH  
 Seit 1977

Laubengang 10  
 D-42279 Wuppertal  
 Telefon 0049/202/25 23 10  
 Telefax 0049/202/25 23 122  
 E-Mail info@avokal-heller.de  
 Internet www.avokal-heller.de

Heinrich Heller GmbH  
 Seit 1927

1.2 Füllstoffe

**HOFFMANN MINERAL**

**HOFFMANN MINERAL GmbH**  
 P.O. Box 14 60  
 86619 Neuburg (Donau), Germany  
 Phone +49 84 31-53-0  
 Fax +49 84 31-53-3 30  
 info@hoffmann-mineral.com  
 www.hoffmann-mineral.com

Kreide

**VKD** Vereinigte Kreidewerke  
 Dammann

**Your partner in minerals fillers  
 for the rubber industry**

Vereinigte Kreidewerke  
 Dammann GmbH & Co. KG  
 Hildesheimer Straße 3  
 31185 Söhlde  
 Phone: +49 5129 78214  
 Fax: +49 5129 781214  
 E-Mail: dseemann@dammann.de  
 www.dammann.de

1.2 Füllstoffe

Ruße

**Avokal** Avokal GmbH  
 Seit 1977

Laubengang 10  
 D-42279 Wuppertal  
 Telefon 0049/202/25 23 10  
 Telefax 0049/202/25 23 122  
 E-Mail info@avokal-heller.de  
 Internet www.avokal-heller.de

Heinrich Heller GmbH  
 Seit 1927



**Biesterfeld**  
 Biesterfeld Performance Rubber  
 Biesterfeld Performance Rubber GmbH  
 Ferdinandstr. 41  
 20095 Hamburg  
 Tel.: 040/32008-263  
 Fax: 040/32008-478  
 E-Mail: rubber@biesterfeld.com  
 Web: www.biesterfeld-performancerubber.com

Sourcing | Customizing | Manufacturing

**LUVOMAXX**  
 SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann&Voss&Co. KG  
 20354 Hamburg  
 Telefon +49 (0)40 44 197-0  
 Fax +49 (0)40 44 197-347  
 luvomaxx@lehvoss.de  
 www.luvomaxx.de

1.3 Weichmacher  
 Dispergatoren



**Hansen & Rosenthal,  
 Klaus Dahleke KG**  
 Am Sandtorkai 64  
 20457 Hamburg / Germany  
 Tel.: +49 (0)40 43218 400  
 E-Mail: export-sales@hansen-rosenthal.de  
 www.hur.com



**KETTLITZ-CHEMIE GmbH & Co. KG**  
 Industriestr. 6  
 86643 Rennertshofen (Germany)  
 Tel.: +49 8434 9402 0  
 Fax: +49 8434 9402 38  
 E-Mail info@kettlitz.com  
 Internet www.kettlitz.com

Verarbeitungswirkstoffe

**D.O.G.**  
 ADD EFFICIENCY

**D O G Deutsche Oelfabrik  
 Ges.f.chem.Erz.mbH&Co.KG**

Ellerholzdam 50 Tel +49 40 311 805-0  
 20457 Hamburg Fax +49 40 311 805-88  
 www.dog-chemie.de info@dog-chemie.de



**Schill+Seilacher**  
 Produktion chemischer Spezialitäten

Moorfleeter Straße 28 22113 Hamburg  
 Telefon (040) 7 33 62-0 Telefax (040) 7 33 62-194  
 Internet www.struktol.de E-Mail info@struktol.de

## 1 Mischrohstoffe und Hilfsstoffe

### 1.4 Vernetzer, Beschleuniger, Vulkanisationsmittel

#### Dry Liquids



KETTLITZ-CHEMIE GmbH & Co. KG  
Industriestr. 6  
86643 Rennertshofen (Germany)  
Tel.: +49 8434 9402 0  
Fax: +49 8434 9402 38  
E-Mail info@kettlitz.com  
Internet www.kettlitz.com

Sourcing | Customizing | Manufacturing



SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann&Voss&Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon +49 (0)40 44 197-0  
Fax +49 (0)40 44 197-347  
luvomaxx@lehvoss.de  
www.luvomaxx.de

#### Kautschukchemikalien



Biesterfeld Performance Rubber  
Biesterfeld Performance Rubber GmbH  
Ferdinandstr. 41  
20095 Hamburg  
Tel.: 040/32008-263  
Fax: 040/32008-478  
E-Mail: rubber@biesterfeld.com  
Web: www.biesterfeld-performancerubber.com

### 1.4 Vernetzer, Beschleuniger, Vulkanisationsmittel

#### Kautschukchemikalien

Sourcing | Customizing | Manufacturing



SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann&Voss&Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon +49 (0)40 44 197-0  
Fax +49 (0)40 44 197-347  
luvomaxx@lehvoss.de  
www.luvomaxx.de

#### Silane

Deolink®-Silanpräparationen  
Deolink®-Flüssigsilane



D O G Deutsche Oelfabrik  
Ges.f.chem.Erz.mbH&Co.KG

Ellerholzdam 50 Tel +49 40 311 805-0  
20457 Hamburg Fax +49 40 311 805-88  
www.dog-chemie.de info@dog-chemie.de

Sourcing | Customizing | Manufacturing



SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann&Voss&Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon +49 (0)40 44 197-0  
Fax +49 (0)40 44 197-347  
luvomaxx@lehvoss.de  
www.luvomaxx.de

### 1.4 Vernetzer, Beschleuniger, Vulkanisationsmittel

#### Stearinsäuren

Avokal GmbH  
Seit 1977  
Laubengang 10  
D-42279 Wuppertal  
Telefon 0049/202/25 23 10  
Telefax 0049/202/25 23 122  
E-Mail info@avokal-heller.de  
Internet www.avokal-heller.de

Heinrich Heller GmbH  
Seit 1927

#### Vernetzer

SEC  
special compounds  
www.sec-compounds.com

#### Vulkanisationsbeschleuniger

Avokal GmbH  
Seit 1977  
Laubengang 10  
D-42279 Wuppertal  
Telefon 0049/202/25 23 10  
Telefax 0049/202/25 23 122  
E-Mail info@avokal-heller.de  
Internet www.avokal-heller.de

Heinrich Heller GmbH  
Seit 1927

### 1.4 Vernetzer, Beschleuniger, Vulkanisationsmittel

#### Zinkoxide

Avokal GmbH  
Seit 1977  
Laubengang 10  
D-42279 Wuppertal  
Telefon 0049/202/25 23 10  
Telefax 0049/202/25 23 122  
E-Mail info@avokal-heller.de  
Internet www.avokal-heller.de

Heinrich Heller GmbH  
Seit 1927



Brüggemann

#### Aktiv in Zinkderivaten

L. Brüggemann GmbH & Co. KG  
Salzstraße 131  
74076 Heilbronn, Deutschland  
Fon +49 71 31 15 75-0  
info@brueggemann.com  
www.brueggemann.com

Seit 1868

### 1.5 Harze



KEYSER & MACKAY

Distribution Partner of  
Eastman Chemical Company for  
Amorphous Polyolefines  
Pure Monomer Resins  
Hydrogenated C9 Resins

Keyser & Mackay  
Industriestr. 163  
50999 Köln  
T: +49 (0) 2236/3990-13  
F: +49 (0) 2236/3990-33  
d.zopes@keymac.com  
www.keysermackay.com

Sourcing | Customizing | Manufacturing



SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann&Voss&Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon +49 (0)40 44 197-0  
Fax +49 (0)40 44 197-347  
luvomaxx@lehvoss.de  
www.luvomaxx.de



1 Mischrohstoffe und Hilfsstoffe

1.6 Trennmittel



**PROMOL®**  
**MISCHUNGSTRENNMITTEL**  
**FORMENTRENNMITTEL**  
**GLEITMITTEL**

**HANS W. BARBE**  
**CHEMISCHE ERZEUGNISSE GMBH**  
 Alte Schmelze 2 · 65201 Wiesbaden  
 T +49 611 182 92-0 · info@barbe.de



**KETTLITZ-CHEMIE GmbH & Co. KG**  
 Industriestr. 6  
 86643 Rennertshofen (Germany)  
 Tel.: +49 8434 9402 0  
 Fax: +49 8434 9402 38  
 E-Mail info@kettlitz.com  
 Internet www.kettlitz.com



Münch Chemie International GmbH  
 Viernheimer Str. 70-76  
 D-69469 Weinheim  
 Tel.: +49 6201 99 83 0  
 Fax: +49 6201 99 83 66  
 www.muench-chemie.com  
 info@muench-chemie.com

Trenn- und Prozesshilfsmittel



**Biesterfeld**  
 Biesterfeld Performance Rubber  
 Biesterfeld Performance Rubber GmbH  
 Ferdinandstr. 41  
 20095 Hamburg  
 Tel.: 040/32008-263  
 Fax: 040/32008-478  
 E-Mail: rubber@biesterfeld.com  
 Web: www.biesterfeld-performancerubber.com

1.7 Sonstige

Flammschutzmittel



Nabaltec AG  
 Postfach 18 60 · 92409 Schwandorf  
 Telefon (0 94 31) 5 3-4 64  
 Telefax (0 94 31) 798 39 55

Licht- und Ozonschutzwaxse



**Hansen & Rosenthal,**  
**Klaus Dahleke KG**  
 Am Sandtorkai 64  
 20457 Hamburg / Germany  
 Tel.: +49 (0)40 43218 400  
 E-Mail: export-sales@hansen-rosenthal.de  
 www.hur.com

2 Verarbeitungsmaschinen und -anlagen

1.7 Sonstige

Polyethylenglykole



2.1 Fertigungs-  
 Vulkanisations-  
 und Folgeanlagen



2.1 Fertigungs-  
 Vulkanisations-  
 und Folgeanlagen



2.2 Sonstige

Klapplager/Wickeltechnik



Wärmeschutzplatten



### 3 Prüf- und Steuergeräte

#### 3.1 Prüfgeräte



**Avokal** GmbH  
Seit 1977

Laubengang 10  
D-42279 Wuppertal  
Telefon 0049/202/25 23 10  
Telefax 0049/202/25 23 122  
E-Mail info@avokal-heller.de  
Internet www.avokal-heller.de

**HELER**  
Seit 1927

Heinrich Heller GmbH

• Gieß- und Laborprüfgeräte für Deutschland und Benelux

#### 3.2 Steuergeräte

##### Prozesssteuerung und -kontrolle

##### Automatisierungs- und Steuerungssysteme, Rohstoffrückverfolgung, Qualitätssicherung

CT Datentechnik GmbH  
Eschenstr. 2  
31582 Nienburg/Weser  
Tel.: +49 (0) 5021-90433-0  
Fax: +49 (0) 5021-90433-700  
http: www.ctdatentechnik.de  
e-mail: mbox@ctdatentechnik.de



### 4 Dienstleistungen

#### Polymer Service GmbH Merseburg

Ihr Forschungspartner  
und Dienstleister im  
Bereich Kunststoffe  
und Elastomere

*Kunststoffe auf dem Prüfstand*

[www.psm-merseburg.de](http://www.psm-merseburg.de)

#### SIGMASOFT® Virtual Molding

**SIGMA Engineering GmbH**  
Kackertstr. 16-18  
52074 Aachen, DE  
Telefon: +49 241 89495-0  
Telefax: +49 241 89495-20  
[www.sigmasoft.de](http://www.sigmasoft.de)  
Email: info@sigmasoft.de

##### Consulting



#### Tire Industry Research

34 Marchmont Road  
Wallington, UK, SM6 9NU  
Tel +44 (0)208 647 1185  
E-Mail Research@TireIndustryResearch.com

##### Netzwerke

### Forum Werkstoffe e.V.

Forum Werkstoffe e.V.  
Steinacher Straße 3  
D-91593 Burgbernheim  
info@forum-werkstoffe.de  
[www.forum-werkstoffe.de](http://www.forum-werkstoffe.de)

#### Das Experten-Netzwerk



[www.tpe-forum.com](http://www.tpe-forum.com)

### 5 Halbfertigprodukte

#### 5.1 Mischungen

##### Brandklassenmischungen



HEXPOL Compounding Sprl  
Industriestrasse 36 • BE-4700 Eupen  
Phone +32 - 87 59 54 30  
Fax +32 - 87 74 44 73  
info.eup@hexpol.com  
[www.hexpolcompounding.com](http://www.hexpolcompounding.com)

##### Elastomermischungen



• SILICON  
• ELASTOMER  
• FLUOR

**KOMPETENZ IN  
KAUTSCHUK**

rado.de  
sales@rado.de  
Tel.: +49 2195 674-0

#### 5.1 Mischungen

##### Elastomermischungen



- Granules
- Cable Compounds
- Customer Solutions

Melos GmbH  
Bismarckstrasse 4 - 10  
49324 Melle | Germany  
Phone +49 54 22 94 47-0  
Fax +49 54 22 59 81  
info@melos-gmbh.com  
[www.melos-gmbh.com](http://www.melos-gmbh.com)

##### Kalender-/Roller-Head-Bahnen Kautschukmischungen aller Art



#### WAGU Gummitechnik GmbH

Friedrich-Harkort-Str. 17  
D-59581 Warstein-Belecke  
info@wagu-rubber.com  
[www.wagu-rubber.com](http://www.wagu-rubber.com)  
Fon (+49) 02902-9739-0  
Fax (+49) 02902-9739-79

5 Halbfertigprodukte

5.1 Mischungen

Kautschukmischungen



Mischungen höchster Perfektion und Vielfalt

Böttcher Gelsdorf GmbH & Co. KG  
 Max-Planck-Str. 2-6  
 D-53501 Grafschaft-Gelsdorf  
 Telefon: +49 (0) 22 25/92 31 - 0  
 Fax: +49 (0) 22 25/92 31 - 22  
 E-Mail: gelsdorf@boettcher.de  
 Internet: www.boettcher.de



- » Trinkwassermischungen
- » Flammenschutzmischungen
- » Rollerhead Folien
- » Spezialprofile

Compounds AG · Barzloostrasse 1  
 CH - 8330 Pfäffikon/ZH  
 Telefon +41 44 953 34 00  
 Telefax +41 44 953 34 01  
 info@compounds.ch  
 www.compounds.ch



Pekstraat 13  
 8211 AB Lelystad - Holland  
 telefon +31-320-227290  
 telefax +31-320-232248  
 e-mail info@rubbercompounding.nl  
 www.rubbercompounding.nl

Service • Expertise • Flexibility



HEXPOL Compounding Sprl  
 Industriestrasse 36 • BE-4700 Eupen  
 Phone +32 - 87 59 54 30  
 Fax +32 - 87 74 44 73  
 info.eup@hexpol.com  
 www.hexpolcompounding.com



Gummitechnik  
 Manfred Hoffmann GmbH & Co. KG  
 Marie-Curie-Straße 2 · 42477 Radevormwald  
 Telefon +49 2195 7073 · Fax +49 2195 40697  
 E-Mail: hoffmann@gummi-hoffmann.de  
 Internet: www.gummi-hoffmann.de

5.1 Mischungen

Kautschukmischungen



Gummierwerk KRAIBURG GmbH & Co. KG  
 Teplitzer Straße 20 · 84478 Waldkraiburg  
 Telefon (0 86 38) 6 10  
 Telefax (0 86 38) 6 13 10  
 E-Mail info@kraiburg-rubber-compounds.com  
 Internet www.kraiburg-rubber-compounds.com



Phoenix Compounding Technology GmbH  
 Hannoversche Straße 100  
 21079 Hamburg  
 Tel: 040/7667-2664  
 Fax: 040/7667-2633  
 www.phoenix-compounding.eu



POLYMER-TECHNIK ELBE GmbH  
 Kautschukmischungen  
 www.polymertechnik.com  
 (03491) 659-250  
 info@polymertechnik.com  
 Heuweg 5 • 06886 Lutherstadt Wittenberg



Polycomp BV  
 Handelsweg 7  
 7251 JG Vorden  
 The Netherlands  
 Tel: +31 575 - 554 066  
 Fax: +31 575 - 554 110  
 E-Mail: info@polycomp.nl  
 www.polycomp.nl



www.sec-compounds.com

5.1 Mischungen

Kautschukmischungen



Biesterfeld Performance Rubber  
 Biesterfeld Performance Rubber GmbH  
 Ferdinandstr. 41  
 20095 Hamburg  
 Tel.: 040/32008-263  
 Fax: 040/32008-478  
 E-Mail: rubber@biesterfeld.com  
 Web: www.biesterfeld-performance-rubber.com



Hexpol Compounding Lesina  
 Lesina  
 Czech Republic  
 Tel.: + 420 775 877 959  
 Email: lesina@hexpol.com  
 www.hexpolcompounding.com/lesina

Silikonkautschukmischungen



Silspek Rubber Sp. z o.o. Sp. K.  
 Rubber Compounds  
 ul. Jańskiego 2  
 46-081 Dobrzeń Wielki  
 Telefon: +48 77 40 85 444  
 Telefax: +48 77 40 85 443  
 E-Mail: silspek@silspek.pl  
 Internet: www.silspek.pl

5.1 Mischungen

Silicon- und Fluorsilikonkautschuk



Excellence in  
 Rubber Compounding  
 SPC Europe Ltd.  
 Cory Way, West Wilts Trading Est.  
 Westbury, Wiltshire, BA13 4QT  
 United Kingdom  
 www.SPC-group.com  
 Anfragen: Tel. 0044 1373 866020  
 enquiries@spc-group.com



Gummierwerk KRAIBURG GmbH & Co. KG  
 Teplitzer Straße 20 · 84478 Waldkraiburg  
 Telefon (0 86 38) 6 10  
 Telefax (0 86 38) 6 13 10  
 E-Mail info@kraiburg-rubber-compounds.com  
 Internet www.kraiburg-rubber-compounds.com



NORDMANN  
 Nordmann, Rassmann GmbH  
 Kajen 2 · 20459 Hamburg · Germany  
 Phone: +49 (40) 36 87-0  
 info@nordmann.global  
 www.nordmann.global



• SILICON  
 • ELASTOMER  
 • FLUOR  
 rado.de  
 sales@rado.de  
 Tel.: +49 2195 674-0



EFROSIL und EFROFLUOR heißvulkanisierbare  
 Silikon- und Fluorsilikoncompounds  
 für höchste technologische Ansprüche

Silcomp Silikoncompounding GmbH

Heuweg 5a 06886 Lutherstadt Wittenberg  
 Tel.: 03491/659460 Fax: 03491/659461  
 servicecenter@silcomp.de

www.silcomp.de



Beschichtete technische Textilien

**SI-KA-TEC®**

engineering coating: GmbH

SI-KA-TEC GmbH

Ascher Straße 26

95100 Selb

Tel. ++49-(0) 92 87-99 63-0

Fax. ++49-(0) 92 87-99 63-99

Internet [www.si-ka-tec.de](http://www.si-ka-tec.de)

E-Mail [info@si-ka-tec.de](mailto:info@si-ka-tec.de)

Gummierte Walzen



Ahauser Gummiwalzen Lammers GmbH & Co. KG

Heisenbergstraße 8 • D-48683 Ahaus

Tel.: 02561-9385-0 • Fax: 02561-9385-500

[hello@ahauser.com](mailto:hello@ahauser.com) • [www.ahauser.com](http://www.ahauser.com)

Gummiformartikel



Spritzguss- und Kompressionsmaschinen  
auch für 2K und TPE Formteile

Alles aus einer Hand.

Von der Auswahl der optimalen Mischung  
über die Werkzeugauslegung bis zur  
Produktion der Artikel

Borflex Rex SA  
Via Catenazzi 1  
CH-6850 Mendrisio  
[www.borflex-rex.ch](http://www.borflex-rex.ch)  
Tel.: +41 91 640 5050  
Mail: [sales@borflex-rex.ch](mailto:sales@borflex-rex.ch)

Gummiprofile



GTG Gummitechnik Wolfgang Bartelt GmbH & Co. KG

Industriestraße 8-10

89423 Gundelfingen a. d. Donau

Tel. +49 9073 9507-0

[www.gtg.eu](http://www.gtg.eu)



Brüsseler Allee 19a

41812 Erkelenz

Telefon: +49 2431 9734834

Telefax: +49 2431 9745839

[office@ap-dichtungstechnik.com](mailto:office@ap-dichtungstechnik.com)

[www.ap-dichtungstechnik.com](http://www.ap-dichtungstechnik.com)

TPE- und PVC-Kantenschutzprofile



Brüsseler Allee 19a

41812 Erkelenz

Telefon: +49 2431 9733361

Telefax: +49 2431 9745839

[profiltechnik@ap-dichtungstechnik.com](mailto:profiltechnik@ap-dichtungstechnik.com)

[www.ap-dichtungstechnik.com](http://www.ap-dichtungstechnik.com)

**SEMPERIT** 

Semperit Profiles Leeser GmbH & Co. KG

Ottostraße 25 - 27

D - 41836 Hückelhoven-Baal

Tel. +49 (0) 24 33-45 08-0

Fax +49 (0) 24 33-45 08-269

[semperitprofiles@semperitgroup.com](mailto:semperitprofiles@semperitgroup.com)

[www.semperitprofiles.com](http://www.semperitprofiles.com)

**Ihre Firma im Bezugsquellennachweis!**

Preis pro Millimeter Höhe  
und Ausgabe 1,60 EUR  
Der Preis beinhaltet  
Layout und Druck in 4c.

Wir beraten Sie gerne!

Ihr Kontakt:

Jenny Baldewein  
Tel. +49 2102 9345-17  
[ads@gupta-verlag.de](mailto:ads@gupta-verlag.de)

**Hier könnte Ihre  
Anzeige stehen!**

**GAK** Gummi  
FASERN  
Kunststoffe

Fachmagazin für die Polymerindustrie

**Diese Größe (50 mm) für  
EUR 80.00 pro Ausgabe.**

12| 2021 erscheint am 10. Dezember 2021

**SCHWERPUNKTTHEMEN SIND:**

- Nachhaltigkeit
- Silicone
- Füllstoffe
- Automotive

▶▶ Anzeigenschluss ist der 29. November 2021 ◀◀

1-2| 2021 erscheint am 10. Februar 2022

**SCHWERPUNKTTHEMA IST ELASTOMERSPRITZGUSS**

▶▶ Anzeigenschluss ist der 24. Januar 2022 ◀◀

**Impressum**

**Dr. Gupta Verlags GmbH**

Am Stadion 3b,  
40878 Ratingen

**Geschäftsführer**

Jörg Spangemacher

Amtsgericht Düsseldorf HRB 79922

USt.-IdNr. DE 314055034

**Tel.** +49 2102 9345-0

**Fax** +49 2102 9345-20

**E-Mail** info@gupta-verlag.de

**Internet** www.gak.de

**Herausgeber**

Dr. Ernst Debie (ED)

**Redaktion**

Dr. Christine Rüdiger (CR)

(Chefredakteurin, v.i.S.d.P.)

Dipl.-Biol. Markus Linden (ML)

Robert Müller (RM)

Dr. Stephanie Waschbüsch (SW)

Dr. Heinz B. P. Gupta †

info@gupta-verlag.de

Tel. +49 2102 9345-0

**Freie Mitarbeiter**

Gert F. Hartmann (GFH)

**Abonnements**

service@gupta-verlag.de

Tel. +49 2102 9345-12

**Anzeigen**

Jenny Baldewin

ads@gupta-verlag.de

Tel. +49 2102 9345-17

**Layout + Druck**

D+L Printpartner

Schlavenhorst 10, 46395 Bocholt

**Erscheinungsweise:**

10 Ausgaben 2021

Postvertriebsnummer 4637

ISSN 0176-1625

**Bankverbindungen**

Deutsche Bank

IBAN DE49 3007 0024 0729 0729 00

BIC DEUTDE33

Commerzbank

IBAN DE33 3004 0000 0859 3915 01

BIC COBADE33XXX

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Oft handelt es sich um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht ausdrücklich als solche gekennzeichnet sind.

**Abonnement-, Bezugs- und Lieferbedingungen:**

Jahresabonnementpreis 280,- EUR (zzgl. Versandkosten). Einzelheft 35,- EUR (Inlandspreise verstehen sich inkl. der jeweils gültigen Mehrwertsteuer). Bestellungen nehmen der Verlag und alle Buchhandlungen im In- und Ausland entgegen. Eine neue Abonnementbestellung gilt zunächst nur für das laufende Kalenderjahr. Das Abonnement verlängert sich automatisch, wenn nicht sechs Wochen vor Ablauf des Kalenderjahres schriftlich gekündigt wird. Die Abonnementgelder werden jährlich im Voraus in Rechnung gestellt und bei Teilnahme am Lastschriftverfahren automatisch abgebucht. Sollte die Fachzeitschrift aus Gründen, die nicht vom Verlag zu vertreten sind, nicht geliefert werden können, besteht kein Anspruch auf Nachlieferung oder Erstattung vorausbezahlter Bezugsgelder. Gerichtsstand für Vollkaufleute ist Ratingen, für alle Übrigen gilt dieser Gerichtsstand, sofern Ansprüche im Wege des Mahnverfahrens geltend gemacht werden.

**Urheber- und Verlagsrecht:**

Mit Namen oder Signum des Verfassers gekennzeichnete Artikel sind nicht unbedingt die Meinung der Redaktion. Unverlangte Manuskripte werden nur zurückgesandt, wenn Rückporto beigefügt ist. Der Verlag setzt voraus, dass der Autor Inhaber der Urheber- und Verwertungsrechte hinsichtlich sämtlicher Bestandteile der Einsendung ist, also auch bezüglich miteingesandter Abbildungen, Tabellen usw. Mit Annahme des Manuskripts gehen das Recht der Veröffentlichung sowie die Rechte zur Übersetzung, zur Vergabe von Nachdruckrechten, zur elektronischen Speicherung in Datenbanken, zur Herstellung von Sonderdrucken, Fotokopien und Mikrokopien an den Verlag über. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der durch das Urheberrechtsgesetz festgelegten Grenzen ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig.

## Welcome to [irjournal.com](https://irjournal.com)

The IRJ has gone digital-only and made a successful transition to a fast-paced new format. We present everything you loved about the IRJ for 26 years - news, features, interviews, analysis of the global rubber industry-now updated daily, instead of bi-monthly.

In the midst of the coronavirus pandemic, we have been firing from all cylinders, meeting your information needs and keeping you connected.

Stay updated in a rapidly changing world...visit [irjournal.com](https://irjournal.com)





# silicone EXPO USA

● TCF Centre, Detroit, MI ● June 21-23, 2022

The world's first  
commercially focused  
showcase event for the  
silicone industry and supply-  
chain – **free to attend**

- 180+ Exhibitors
- 2 x Track Conferences
- Virtual roundtables
- 65+ Speakers
- 3,500+ Buyers

**Join these Industry Leading Companies!**



Secure your spot at [silicone-expo.com](http://silicone-expo.com)  
or contact our sales director at  
[jamie.reid@selectglobalevents.com](mailto:jamie.reid@selectglobalevents.com)