

# KGK

**KAUTSCHUK GUMMI KUNSTSTOFFE**

**PRAXIS DKT 2015: Treffpunkt der Kautschukbranche**  
**VERFAHREN** Spritzgießen faserverstärkter Elastomere

[www.kgk-rubberpoint.de](http://www.kgk-rubberpoint.de)



## Feinstrainern für eine bessere Produktqualität

Automatisiertes  
offline Strainern,  
Seite 10



**KGK** RUBBERPOINT

Discover more interesting articles  
and news on the subject!

[www.kgk-rubberpoint.de](http://www.kgk-rubberpoint.de)



Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema!

EINE SONDERAUSGABE DES FACHMAGAZINS PLASTVERARBEITER



# PLAST MESSEGUIDE

PRODUKTE | TECHNOLOGIEN | STATEMENTS



Mit großem  
Vertriebsradius  
auf der Messe

Fakuma 2015:  
Mit dem PLAST MESSEGUIDE  
mittendrin!



www.plastverarb

Impulsgeber für Messe-Besucher und inhaltliche Fokussierung auf das Branchenereignis FAKUMA: Das Medium **PLAST MESSEGUIDE** ergänzt ideal die Ausgaben des Fachmagazins PLASTVERARBEITER.

Weitere Informationen/Anzeigenplatzierungen:  
[ludger.aulich@huethig.de](mailto:ludger.aulich@huethig.de)



erfolgsmedien für experten

Hüthig GmbH  
Im Weiher 10  
D-69121 Heidelberg

Tel. +49 (0) 6221 489-0  
Fax +49 (0) 6221 489-481  
[www.huethig.de](http://www.huethig.de)

**MASCHINEN UND ANLAGEN**  
**MACHINERY AND EQUIPMENTS**

Ch. Hopmann, Ulf Recht, Aachen  
**Projektilinjektionstechnik – Spritzgießen endlosfaserverstärkter, elastomerer Medienleitungen** 25

Ch. Hopmann, S. Schäfer, Aachen  
**Blasformen von Siliconkautschuken – Innovative Prozesstechnik zur Herstellung elastomerer Hohlkörper** 32

**ELASTOMERE UND KUNSTSTOFFE**  
**ELASTOMERS AND PLASTICS**

Xuhui Zhang, Tengfei Lin, Zhenghai Tang, Baochun Guo, Guangdong, China  
**Elastomeric Composites based on Zinc Diacrylate-Cured Epoxidized Natural Rubber: Mechanical Properties and Ageing-Resistance** 39

**PRÜFEN UND MESSEN**  
**TESTING AND MEASURING**

Benjamin Klie, Edmund Haberstroh, Ulrich Giese, Hannover, Sebastian Brockhaus, Volker Schöppner, Paderborn  
**Influence of the flow Channel Coating of the high Pressure capillary Viscometer on the Formation of Wall slip Effects in the Case of Rubber Compounds** 46

**PRAXIS**  
**PRACTICE**

Feinstrainern für eine bessere Produktqualität  
**Automatisiertes offline Strainern** 10

Wo Wissenschaft und Praxis sich ganz nah kommen  
**Deutsche Kautschuk-Tagung präsentierte sich als internationaler Treffpunkt** 12

The Recovery of Silica from End-of-Life-Tyres  
**Pyrolysis as alternative source of Silica filler** 18

Von der Entwicklung zur Fertigung  
**Prozesssicheres Vulkanisieren und Nadelverschluss-Kaltkanaltechnik** 22



**TITELSTORY**

**Feinstrainern für eine bessere Produktqualität**

Der gestiegene Anspruch an die Produktqualität erfordert saubere Kautschukmischungen ohne Verunreinigungen. Damit steigt auch der Bedarf an gestrainerten Kautschukmischungen. Daher wurde vor etwa einem Jahr bei Contitech Phoenix Compounding Technology in Waltershausen (PCT) eine automatisierte roll-ex Strainerzelle installiert, mit dem Ziel des Feinstrainerns von Kautschukmischungen, unabhängig von den bestehenden Mischnlinien.

**Uth GmbH**  
Eisenhowerstraße 7-9  
36041 Fulda  
Tel. +49 661 9741-0  
Fax +49 661 9741-30  
E-Mail info@uth-gmbh.com  
www.uth-gmbh.com

**RUBRIKEN**

**Focus International** 4

**Veranstaltungen**  
**Events** 38

**Ausrüstungen und Materialien**  
**Equipments and Materials** 58

**Vorschau, Impressum**  
**Preview, Impressum** 66



Look at Mexico City with the Popocatepetl in the background. The name of the Popocatepetl comes from the Aztecs and means so much like „very smoking mountain“.

Source: Rafael Ben-Ari- fotolia.com

## Rubber Compounding Capacity in Mexico to expand

**HEXPOL** Swedish polymers group Hexpol, Malmö, has decided to invest in further capacity for rubber compounding in Mexico in order to support the growing demand from mainly automotive and engineering related customers in Mexico. The investment consists of another advanced 135 L rubber compounding line and will include building and infrastructure extension at the facility in Querétaro, Mexico. With the new line on stream during second half of 2016 Hexpol's rubber compounding capacity will increase to more than 70,000 tonnes from six advanced rubber compounding lines in the Mexican facilities in Querétaro and Aguascalientes.

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

## Expansion of TPE Production Capacity in Japan

**ZEON** will expand annual production capacity at the Mizushima Plant for thermoplastic elastomers (product name: Quintac), used as a main raw material for adhesives, from 42,000 tons to 60,000 tons. The expansion in production capacity is planned to be completed by May 2016. The Quintac series of styrene isoprene (SIS) block polymers consists primarily of high purity isoprene monomers extracted from the C5 fraction using the GPI process (Geon Process of Isoprene), Zeon's unique proprietary technology.

[www.zeon.co.jp](http://www.zeon.co.jp)

## Automotive Industry boosts Plastics and Rubber Production in Mexico

**FROST & SULLIVAN** According to a report published on 6th July, polybutylene terephthalate (PBT) and styrene-butadiene-styrene (SBS) markets in Mexico are expected to grow at the highest compound annual growth rate (CAGR) from 2014 to 2020, at 11.3 percent and 8.7 percent, respectively. Biggest revenue segments for the Mexican petrochemicals market in 2014 were acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS, US\$ 381.7 million) and styrene butadiene rubber (SBR, US\$ 332.6 million). The main reason for this growth is the steady stream of investments by automotive, electronics, and appliance companies, which are attracted to Mexico's low production costs and strategic geographic location. „While higher vehicle production is the main market driver for the petrochemical market, there is a marked trend toward making vehicles lighter to enhance movement and save fuel,“ said Frost & Sullivan Energy & Environmental Industry Analyst Mariana Guercia. „This translates to higher demand for plastic materials to replace metal parts, but simultaneously, it also decreases the amount of rubber required per car.“ The influx of participants, especially from Asia, is intensifying competition in the market and thereby, lowering the average price of resins. The volatility of raw material prices is further constricting profit margins, as it is turning the market toward price-based competition. However, the market has considerable Government backing, which makes it financially viable to do domestic business and keeps the market buoyant in spite of the falling prices. „As Mexico has signed multiple trade agreements with various nations, manufacturers from most countries do not have to pay import taxes,“ noted Guercia. „The low costs of establishing business stimulate foreign investments, especially in new plants and factories of automotive, appliances and electronics industries, which are the main end users of these resins.“ Overall, due to the favorable environment created by the Government and the country's advantageous location, the petrochemical market in Mexico is expected to grow at a steady pace.

[ww2.frost.com](http://ww2.frost.com)

## Investment in French Elastomer Production Unit

**BLUESTAR** French silicones manufacturer Bluestar Silicones International, Lyon, will invest €15m to develop and modernise its elastomer production units, in particular that located on the Saint Fons site near Lyon. Apart from capacity building, this project aims primarily to improve productivity and quality of silicone elastomers. Innovation and development of new products is at the crux of this investment, to help the company continue to meet the increasingly stringent requirements in the various technical fields such as automobile, aviation and medical. Finally, ergonomics and working conditions of the company's teams will benefit from the most recent technological advances brought by this investment. Frédéric Jacquin, CEO of Bluestar, declared: „With this substantial investment on the French Saint Fons site, Bluestar Silicones reiterates its determination to consolidate its co-leadership position in Europe on Heat Cured Elastomer products and to continue development under the best possible conditions of productivity and quality at its Mix and Fix service centres throughout the world.“

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

## EU Tyre Market shows slight upward Trend in first Semester

**ETRMA** European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (ETRMA) in Brussels reports, the positive demand for new passenger cars in the EU (+14.6 per cent) has had a positive impact on tyre sales: OE demand on in consumer tyres segment raised in June 12%, truck tyres segment 21% compared to June last year. The replacement demand for June is a surprisingly high figure too: in car summer-tyres +18% and in truck tyres+7%. In the first semester of 2015, both OE and replacement tyre markets have remained stable, both on consumer and truck tyres. Except in agricultural segment where we observe a significant down trend, which is in contrast with the growing imports from China and India.

[www.etrma.org](http://www.etrma.org)

**In the first semester of 2015, both OE and replacement tyre markets have remained stable, both on consumer and truck tyres.**

### Market situation June 2015

OE. Cons and Truck incl.Turkey

	June 2014	June 2015	%	cum. 2014	Cum. 2015	%
Consumer Repl.	17.738	18.554	+5	98.528	100.774	+2
Car summer	8.157	9.668	+18	73.335	75.729	+3
Car winter	7.006	6.046	-14	11.376	9.855	-14
Consumer OE	7.534	8.404	+12	44.647	46.617	+4
Truck Repl.	783	841	+7	4.322	4.401	+2
Truck OE	435	525	+21	2.566	2.862	+9
Agricultural	148	139	-6	968	850	-13

000 units;  
Source ETRMA-europool

Source: ETRMA

## Production Plant for SSBR and PBR in Indonesia

**SSBR** Toyo Engineering and PT Inti Karya Persada Teknik (IKPT) have been awarded a contract for synthetic rubber plant project with production capacity of 120,000 tons per annum in Indonesia from PT Synthetic Rubber Indonesia (SRI), a joint venture company of Compagnie Financiere Du Groupe Michelin (Michelin) and PT Chandra Asri Petrochemical Tbk (CAP). This synthetic rubber plant will produce Solution Styrene Butadiene Rubber (SSBR) and Polybutadiene Rubber with Neodymium Catalyst (PBR) licensed by Michelin, which will be used to produce tires. The plant will utilize butadiene feedstock produced by PT Petrokimia Butadiene Indonesia, a subsidiary of CAP. Toyo Engineering entered into offshore supply

contract and IKPT entered into detail engineering, procurement and construction contract with SRI separately. The target for completion is in 2018. The Indonesian market, with a population of approximately 240 million and rapid economic growth, offers expanding demand for tires along with increasing of automotive and motorcycles. Toyo Engineering was awarded butadiene plant project in 2011 and ethylene plant expansion project in 2013 from CAP. These experiences and Toyo/IKPT's proposal to the project execution have been highly evaluated by SRI, which led to this award.

[www.chandra-asri.com](http://www.chandra-asri.com)

[www.compounds.ch](http://www.compounds.ch)

**Compounds**   
rubber solutions

RUBBER SOLUTIONS

ARE OUR PASSION

- Neue Generation von Flammschutzmischungen mit Reissfestigkeit von mehr als 8 MPa verfügbar
- Zertifiziert nach EN 45545-2 / HL3

Weitere Produkte und andere Anwendungen finden Sie auf unserer Homepage

# Neuer VDMA-Vorstand gewählt und Umsatzprognose für 2016

**VDMA KUG** Auf ihrer Mitgliederversammlung am 3. Juli 2015 in Königstein-Falkenstein haben die Vertreter der Mitgliedsfirmen des Fachverbandes Kunststoff- und Gummimaschinen (VDMA KuG) einen neuen Vorstand gewählt. Ulrich Reifenhäuser, geschäftsführender Gesellschafter der Reifenhäuser-Gruppe, bleibt weiter Vorsitzender. Weiterhin gehören dem Vorstand an: Michael Baumeister, Brückner Maschinenbau, Siegsdorf; Dr. Karlheinz Bourdon, Kraussmafi Technologies, München; Lutz Busch, Kampf Schneid- und Wickeltechnik, Wiehl; Sandra Füllsack, geschäftsführende Gesellschafterin der Motan Holding, Konstanz (neu); Dr. Peter Neumann, Engel Austria, Schwertberg; Uwe Rothaug, Kurtz, Kreuzwertheim; Gerold Schley, Vorsitzender der Geschäftsführung von Battenfeld-Cincinnati Germany, Bad Oeynhausen (neu); Dr. Peter Schmidt, Troester, Hannover; Peter Steinbeck, geschäftsführender Gesellschafter von Windmüller & Hölscher, Lengerich (stellvertretender Vorsitzender); Dr. Olaf Weiland, Kautex Maschinenbau, Bonn; Rainer Zimmermann, AZO, Osterburken. Zudem gab der Fachverband eine Umsatzprognose für 2015 und 2016 ab: 4% Umsatzwachstum für 2015 und 2% für 2016. „Die Geschäfte in Europa konnten im vergangenen Jahr Rückgänge in anderen Absatzregionen ausgleichen“, berichtet Thorsten Kühmann, Geschäftsführer des Fachverbandes. „Aktuell sieht es so aus, als wäre in Indien die



Bild VDMA KuG

Der neu gewählte Vorstand des VDMA-Fachverbandes Kunststoff- und Gummimaschinen. Ulrich Reifenhäuser (3.v.l.) ist erneut Vorsitzender. Sein Stellvertreter ist Peter Steinbeck, (7.v.l.) von Windmüller & Hölscher.

Talsole durchschritten und ein Aufschwung in Sicht. Auch Brasilien und Mexiko zeigten in den vergangenen Monaten Erholungstendenzen. In den beiden wichtigsten Kundenmärkten der Branche, China und USA, gehen wir nach der Wachstumspause 2014 von einer Erholung mit moderaten Zuwachsraten aus. Für die Exporte nach Russland zeichnet sich dagegen ein weiterer Rückgang ab. Von den anderen Absatzmärkten in Osteuropa erwarten wir weiterhin positive Impulse.“

[www.vdma.org](http://www.vdma.org)

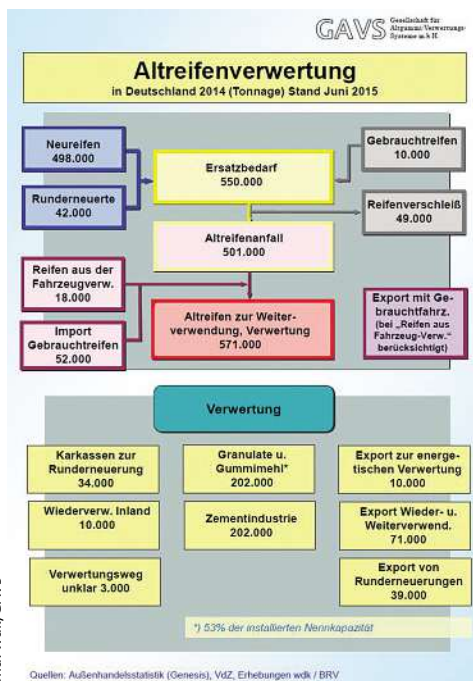
## Wachsende Marktpotenziale für Altgummi-Rezyklate

**WDK** „2014 sind weniger neue und runderneuerte Reifen auf die Fahrzeuge montiert worden. Deshalb ist auch die Menge der Altreifen geringer ausgefallen, als noch im Jahr zuvor.“, stellte Helmut Hirsch, Geschäftsführer der Gesellschaft für Altgummi-Verwertungs-Systeme (GAVS) in Frankfurt am Main fest. Die beim Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie

(wdk) angesiedelte GAVS ermittelt alljährlich das Altreifenaufkommen in Deutschland. Mit rund 570.000 t lag die Gesamtmenge 2014 um 2% unter dem niedrigen Vorjahresvolumen. „Seit nunmehr vier Jahren in Folge ist die Anzahl der ersetzten Reifen rückläufig und zudem sind die Importe gebrauchter Reifen im letzten Jahr knapp unter der Einfuhrmenge von 2013 geblieben“, erläuterte Hirsch den Mengenrückgang. „Bei der Weiterverwendung und der Verwertung demontierter Reifen setzt sich in Deutschland der Trend zur stofflichen Nutzung der Ressource Altreifen fort“, stellt Hirsch fest. „In den letzten Jahren ist eine merkliche Erweiterung von Anlagenkapazitäten zur stofflichen Verwertung zu registrieren und es gibt, wenn auch in übersichtlicher Größenordnung, Ansätze, marktfähige Pyrolysematerialien zu produzieren“, charakterisiert Hirsch die Entwicklung. Ergänzend weist er darauf hin, „diese Entwicklung ist marktgetrieben, das heißt die hier engagierten Unternehmen sehen wachsende Marktpotenziale für Altgummi-Rezyklate.“ Die Außenhandelsstatistik unterstreicht den hohen Stellenwert des Verwertungsstandortes Deutschland. Wie schon im Jahr zuvor sind mehr Altreifen im Inland verblieben. Die Ausfuhr gebrauchter Fahrzeugreifen ging 2014 um

rund 15% zurück. Die Importe behaupteten sich dagegen knapp auf Vorjahresniveau. Abschließend verweist Hirsch auf die europäischen Normungsaktivitäten bei CEN (Comité Européen de Normalisation): „Die Schaffung eines Standards für Altgummigranulate verbessert für Hersteller und Abnehmer die Klarheit und Transparenz bei der qualitativen Beschreibung der Rezyklate. Das unterstreicht, Altgummigranulate sind ein qualitätsbestimmtes Material.“

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



## Halbjahresumsatz um 32 Prozent gesteigert

**REIFF ELASTOMERTECHNIK** hat im 1. Halbjahr 2015 den Umsatz um 32% gegenüber dem Vorjahr gesteigert. Der Hersteller von Elastomerform- und Elastomerverbundteilen rechnet nun im Gesamtjahr mit einer Umsatzsteigerung von 22% gegenüber dem Vorjahr. Absolute Zahlen wurden nicht angegeben. Das Unternehmen sieht sich damit nach eigener Einschätzung „nach einer Durststrecke in den Jahren 2012 und 2013 auf Erfolgskurs“. Für 2015 war ursprünglich ein Umsatzplus von 15% geplant.

[www.reiff-gruppe.de](http://www.reiff-gruppe.de)

**DKT 2015**

Deutsche Kautschuk-Tagung  
29. Juni - 2. Juli, Nürnberg

**IRC 2015**

International Rubber Conference  
June 29 - July 2, Nuremberg, Germany

MEETING POINT OF  
THE RUBBER INDUSTRY

To all our contributors and guests:

*Thank You!*

for a successful conference and exhibition

**DKG**

Deutsche Kautschuk-  
Gesellschaft e.V.

P. O. Box 9003 60  
60443 Frankfurt · Germany

Phone: + 49 (0) 69/7936-154  
Fax: + 49 (0) 69/7936-155

info@dkg-rubber.de  
www.dkg-rubber.de



## FSK erörtert Recycling-Verfahren für Schaumstoffe und Polyurethane

**FSK** Der Arbeitskreis Verwertung und Recycling im Fachverband Schaumkunststoffe und Polyurethane (FSK), Frankfurt, erörterte anlässlich des Besuchs des Volkswagen-Nutzfahrzeug-Recyclingzentrums aktuelle Verwertungstechniken und Recycling-Strategien für Kunststoffe. Neben den mechanischen Verfahren wurden auch chemische Recycling-Verfahren für PUR-Schäume betrachtet. Ziel dieser Recycling-Anlage bei VW ist es, Kunststoffe und Aluminium, die im Werk Hannover anfallen, in den Sekundärrohstoffkreislauf zurückzuführen. Neben der händischen Vorsortierung wird in Zerkleinerungsmaschinen Mahlgut erstellt. Dieses wird im eigenen Kunststofflabor geprüft, um den Qualitätsstandards für die Wiederverwertung gerecht zu werden. Am Beispiel der Volkswagen Sortier- und Recyclinganlage für nicht mehr verwendbare Kunststoffbauteile im Automobil wurden von den PUR- und Schaumstoff-Verarbei-

tern die Möglichkeiten und Grenzen des sortenreinen Sortierens von Kunststoffen für die Wiederverwertung begutachtet. Gerade Schaumkunststoffe und Polyurethane kommen in zahlreichen Anwendungen als Hybridverbindung mit anderen Kunststoffen oder Metallen beziehungsweise auch faserverstärkt zum Einsatz. Dies stelle hohe Anforderungen an die Trenntechnik für die Werkstoffe und machen dieses Verfahren oftmals sehr unwirtschaftlich. Dazu komme die Diskussion um Inhaltsstoffe nicht zuletzt durch die europäische Chemikalienpolitik, deren Auswirkungen der Vorsitzende der Arbeitsgruppe Recycling und Verwertung im FSK, Dr. Thomas Hillebrand vom Schaumdosen-Recycler PDR, erläuterte. Die Verantwortung für Eigenschaften von Rezyklaten und die Verunsicherung der Kundenindustrien bezüglich des Einsatzes von flüssigen oder granulierten Kunststoff-Rezyklaten erschwere den Ansatz ebenso. „Trotz al-

ler Bemühungen, Polyurethan zu recyceln, stehen Rezyklate im Wettbewerb zur Neeware und erzielen deswegen selten annähernd dieselben Preise“, so Dr. Hillebrand. Gerade bei Polyurethan-Abfällen und Produktionsresten spielt das chemische Recycling in einer Art Glykolyse-Prozess eine wichtige Rolle, da Weich- oder auch Hartschäume alternativ nur mechanisch zu Flocken verkleinert oder aber gemahlen werden können. Die Anwendungsmöglichkeiten für beide Arten von Polyurethan und Schaumstoff-Recyclaten standen ebenso im Mittelpunkt des FSK-Recycling-Treffens in Hannover bei Volkswagen. Dort werden nicht nur einzelne Kunststoffkomponenten sondern beispielsweise ganze Instrumententafeln oder Interieur-Bauteile dem Recyclingprozess zugeführt.

[www.fsk-vsv.de](http://www.fsk-vsv.de)

### Erweiterte LSR-Anlage in Leverkusen in Betrieb genommen

**MOMENTIVE** Das US-amerikanische Chemieunternehmen Momentive Performance Materials hat die Produktion für Flüssigsilikonkautschuke im Chempark Leverkusen erweitert und in Betrieb genommen, teilte der Chemieparkbetreiber Currenta mit. Effizienzmaßnahmen sorgten bereits in den vergangenen Jahren für eine Kapazitätserweiterung der LSR-Produktion um mehr als 10%. Während einer Feierstunde am 8. Juni 2015 nahmen Jack Boss, CEO des Chemieunternehmens, Dr. Robert Gnnann, Senior Vice President & Managing Director Momentive Deutschland und der Chemiepark-Leiter Dr. Ernst Grigat die Anlage in Betrieb. „Unsere Investition unterstützt das kontinuierliche Wachstum der nächsten Jahre und unterstreicht unser langfristiges Engagement im Produktbereich für Flüssigsilikonkautschuke in Deutschland“, sagte Boss. Gnnann ergänzte: „Durch regel-



**Eröffnung der erweiterten LSR-Produktion in Leverkusen (v. l. n. r.): Chemiepark-Leiter Dr. Ernst Grigat, Dr. Robert Gnnann von Momentive Deutschland sowie Erick Asmussen und Jack Boss von der Momentive-Muttergesellschaft.**

mäßige Investitionen an unserem Hauptstandort in Leverkusen begleiten wir seit Jahren das Marktwachstum und passen uns den steigenden Qualitätsanforderungen unserer Kunden an.“

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

### Schließung Standort Salzgitter und Vereinbarung für Sozialplan

**CONTITECH TECHNO-CHEMIE** in Salzgitter hat gemeinsam mit den Arbeitnehmervertretern einen Interessenausgleich sowie einen Sozialplan für die sozialverträgliche und stufenweise Rückführung des Standorts Salzgitter mit seinen 200 Mitarbeitern vereinbart. Die Produktion und Lieferung von Schlauchleitungen wird ab dem 1. September 2015 in vier Stufen bis zum 30. Juni 2016 zurückgeführt. Die stufenweise Rückführung beginnt am 1. September dieses Jahres. 53 Beschäftigungsverhältnisse werden zu diesem Zeitpunkt sozialverträglich abgebaut. Weitere 46 Arbeitsplätze folgen zum 1. Januar 2016 und 35 zum 1. März 2016. Die technischen Anlagen und Maschinen werden in dieser Zeit abmontiert und an anderen Contitech-Standorten wieder eingesetzt. Die verbleibenden 37 Arbeitsplätze enden dann zur Jahresmitte 2016. Die bestehenden 19 Leiharbeitsverträge laufen individuell bis zum 15. August aus. Die vom Arbeitsplatzverlust betroffenen Mitarbeiter erhalten die Möglichkeit, ab dem 1. September 2015 für die Dauer von zwölf Monaten zur weiteren Qualifizierung während der Übergangsphase in eine Transfergesellschaft zu wechseln.

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

## Investition von 20 Millionen Euro in die Produktion in Damme



Bild: Daniel Meier

**BOGE** Mehr als 20 Mio. Euro investiert der Automobilzulieferer Boge Rubber & Plastics (vormals das Geschäftsfeld Gummi & Kunststoff der ZF Friedrichshafen) in eine neue Produktionshalle mit 10 Spritzgießmaschinen und 2 Montagelinien in Damme in diesem Jahr. Grund dafür ist ein Großauftrag zur Herstellung einer Pedalerie. Der Spatenstich für die 6.000 m<sup>2</sup> große Halle ist in diesen Tagen erfolgt. Produktionsstart soll 2016 sein. Derzeit beträgt die gesamte Produktionsfläche in Damme rund 28.000 m<sup>2</sup>. Die Investition umfasst desweiteren auch 17 Roboter für die Endbearbeitung und Montage. Außerdem sollen für diesen Produktionsausbau rund 70 neue Mitarbeiter eingestellt werden. Der

Automobilzulieferer rechnet aufgrund dieses Großprojekts mit einem zusätzlichen Jahresumsatz von 60 Mio. Euro. Nach Angaben von Dr. Torsten Bremer, CEO der Boge Rubber & Plastics Group, liegt das Investitionsvolumen in Damme damit „deutlich über dem Niveau in der Vergangenheit“. 2014 waren es rund 12 Mio. Euro. Das Werk Damme ist derzeit mit einem Umsatz von rund 220 Mio. Euro und 950 Mitarbeitern das größte Werk des Automobilzulieferers.

[www.boge-rubber-plastics.com](http://www.boge-rubber-plastics.com)

**Spatenstich für das Großprojekt (v.l.n.r.): Dr. Torsten Bremer, Boge Rubber & Plastics Group, Ulrich Ehrhardt, Werksleiter Boge Elastmetall Damme, und Erich Bösking, Leiter Facility Management Werk Damme.**

## Butadien-Kapazitäten ausgebaut und in Betrieb genommen

**EVONIK** hat im belgischen Antwerpen neue Produktionsanlagen für C4-basierte Produkte, Butadien und MTPE, planmäßig in Betrieb genommen. Auch in Marl wurden die C4-Kapazitäten (Isononanol) ausgebaut. Die Investitionen dafür an den beiden Standorten ergeben insgesamt einen dreistelligen Millionen-Betrag (Euro). Die neuen Anlagen führen zu einem Ausbau der Kapazitäten für Butadien in Antwerpen, für den Weichmacher-Alkohol Iso-

nonanol (Marl) sowie für das Antiklopfmittel MTBE (Marl und Antwerpen). Mit den ausgebauten Produktionsverbänden in Antwerpen und Marl will das Chemieunternehmen seine Marktpositionen in der C4-Chemie langfristig weiterentwickeln und stärken. Der weltweite Bedarf für diese Produkte steigt nach Marktanalysen um zwei bis fünf Prozent im Jahr. Mit langfristigen Lieferverträgen hat das Chemieunternehmen die Rohstoffversorgung für den

Betrieb der neuen Anlagen sichergestellt. Zudem hat das Chemieunternehmen nach eigenen Angaben „weltweit erstmalig FCC-C4 Stoffströme aus Raffinerien nutzbar gemacht“; FCC steht für Fluid Catalytic Cracking. Dies zeige „die technologische Leistungsfähigkeit von Evonik in der C4-Chemie“ und sei „ein wichtiger Beitrag zu einer nachhaltigen Produktion“.

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

## Kieselsäure-Produktion in Polen gestartet

**SOLVAY** Der belgische Chemiekonzern Solvay, Brüssel, hat mit der Produktion von hochdispersierbarer Kieselsäure (HDS) in seinem neuen Werk im polnischen Wloclawek begonnen. Es hat eine Jahreskapazität von 85.000 t und beschäftigt mehr als 100 Mitarbeiter. Das Werk wird neueste HDS-Typen produzieren, die als Füllstoff den Gummi der Reifenlauffläche verstärken und den Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs reduzieren können. Zu den HDS-Marken von Solvay gehören Zeosil Premium und Efficiium. „Das neue Solvay-Werk wird Kunden in Mittel- und Osteuropa mit richtungsweisenden Reifenmaterialien beliefern, die zu einer umweltverträglicheren und wettbewerbsfähigeren Mobilität beitragen“, sagte An Nuytens, Präsidentin der globalen Geschäftseinheit Solvay Silica. Mit dem neuen Werk in Wloclawek verfügt Solvay Silica jetzt über ein Netz von neun Fertigungsstätten in Europa, Süd- und Nordamerika und Asien. In Südkorea baut das Chemieunternehmen ein weiteres, sehr großes Werk, das ebenfalls Efficiium herstellen wird, und nach seiner Inbetriebnahme die jährliche Silica-Kapazität von Solvay gemessen am Produktionsvolumen zwischen 2014 und 2016 um fast 50 % steigern wird.

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



Bild: Solvay

**Solvay hat Anfang Juli eine neue Produktionsstätte für hochdispersierbare Kieselsäure (HDS) im polnischen Wloclawek in Anwesenheit von Vertretern der polnischen Regierung in Betrieb genommen.**

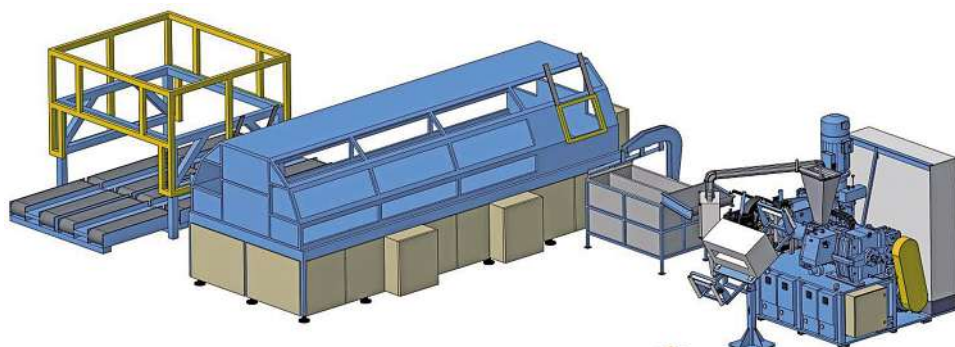
# Feinstrainern für eine bessere Produktqualität

**Automatisiertes offline Strainern** Der gestiegene Anspruch an die Produktqualität erfordert saubere Kautschukmischungen ohne Verunreinigungen. Damit steigt auch der Bedarf an gestrainerten Kautschukmischungen. Daher wurde vor etwa einem Jahr bei Contitech Phoenix Compounding Technology in Waltershausen (PCT) eine Strainerzelle installiert, mit dem Ziel des Feinstrainerns von Kautschukmischungen unabhängig von den bestehenden Misclinien.

In den letzten Jahren sind in der gummi-verarbeitenden Industrie die Anforderungen hinsichtlich Produktqualität kontinuierlich gestiegen. Gleichzeitig hat eine Steigerung der Kosteneffizienz stattgefunden. Saubere, das heißt

nicht mit groben Partikeln und Fremdstoffen sowie nicht dispergierten Inhaltsstoffen verunreinigte Kautschukmischungen bilden eine wichtige Grundlage, um diese Anforderungen zu erfüllen. Verunreinigungen verursachen eine

Erhöhung der Ausschuss- und Abfallrate durch Störungen im Prozess sowie eine Unterschreitung der geforderten Qualitätsmerkmale der Endprodukte. Durch Feinstrainern der Kautschukmischung kann diesen Problemen entgegengewirkt werden. Allerdings stellt die Verarbeitung von empfindlichen und hochbeschleunigten Mischungen die Gummiindustrie vor neue Herausforderungen. Die roll-ex Zahnradextruder-Technologie von Uth ermöglicht aufgrund schonender Materialbehandlung auch bei Verwendung feinsten Siebe die Erfüllung der vorgenannten Forderungen.



Mit der automatisierten Strainer-Zelle werden Verunreinigungen durch einen Sieb-Aufbau aus der Kautschukmischung entfernt.

## Autor

David Fronczek, Vertriebsingenieur  
Extrusionssysteme, Uth, Fulda



Bilder: alle Uth



Durch das Strainern der Mischung lassen sich Fehlstellen vermeiden.

Im Zuge von Portfolioerweiterungen und Qualitätsverbesserungen gab es einen gestiegenen Bedarf an gestrainten Mischungen bei PCT in Waltershausen, wo sich einer der modernsten Contitech-Standorte weltweit befindet.

### Bedarf an getrainten Mischungen gestiegen

Neben dem Mischungsspezialisten Contitech Phoenix Compounding Technology fertigen in Waltershausen die Contitech-Geschäftsbereiche Fluid Technology und Elastomer Coatings. „Wir produzieren Schläuche für Klimaschlauchleitungen, Kühlwasserschläuche und Kunststoffrohre, Gummimischungen für die technische und die Kfz-Industrie sowie Gummidrucktücher für die Druckindustrie“, sagt Werksleiter Klaus Faßler.

Phoenix Compounding Technology verfügt über eine gut aufgestellte Entwicklungsabteilung am Standort Waltershausen. Mit sieben Mischerlinien, online- und offline-Strainervarianten sowie der Silikonfertigung mit drei Anlagen produziert sie jährlich 80.000 Tonnen Compounds in unterschiedlichen Lieferformen für alle Bedingungen und Kundenanforderungen. „Wir wollen uns ständig verbessern und suchen dafür nach neuen technologischen Wegen und Marktnischen“, stellt Klaus Faßler heraus. Konkreter Investitionsbedarf für eine neue Strainerlösung entstand 2012, als eine bestehende Anlage mit Stiftextruder bezüglich des Ausstoßes, aber auch prozesstechnisch an Ihre Grenzen geriet.

Unmittelbares Ziel der Investition war also die Effizienzsteigerung gegenüber der Altfertigung bei voller Erfüllung aller Kundenanforderungen. Möglich wird dies durch die konsequente Automatisierung, den energieeffizienten Betrieb der Anlage sowie die patentierte Konstruktion der roll-ex Zahnradpumpe, welche eine schonende Materialverarbeitung sowie schnelle Mischungswchsel ermöglichen. Darüber hinaus betont Klaus Faßler weitere Vorteile: „Der Reinigungsaufwand und die Wartungskosten fallen geringer aus. Die neue Verlegeeinrichtung versetzt uns in die Lage, alle individuellen Kundenanforderungen an unsere Lieferformen abzudecken und qualitativ hochwertig abzulegen.“

### Automatisierte Komplettlösung

Die von Uth entwickelte Strainerzelle ist eine automatisierte Komplettlösung zum Feinstrainern von Kautschuk-



## ABSTRACT

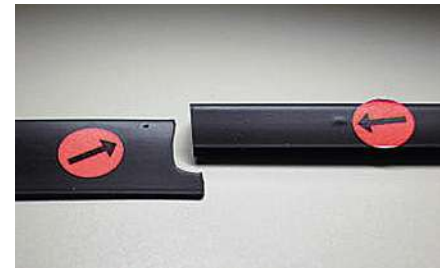
### Stainer-Technology to increase Quality and Capacity

Contitech Phoenix Compounding Technology (PCT) in Waltershausen, Germany, installed a new solution for offline fine mesh straining in 2014 to expand its straining capacity and quality. The roll-ex strainer cell, supplied by Uth, Fulda, Germany, is an integrated, highly automated system for straining compounds independently of existing mixing lines. It consists of a gear extruder with screw feeder

and strainer head, a strip cooler and a packing/stacking unit. The patented design of the gear pump enables quick compound changes and minimal downtimes. One year after the installation, PCT is very satisfied with the investment. The strainer cell is running fully continuously for 20 shifts a week, processing all kinds of compounds for the technical rubber and tire industry.

mischungen, bestehend aus Strainer, Streifenkühler und Ablegeeinheit. Der modular aufgebaute Zahnradextruder kann dabei sowohl mit Zweiwalzen-Fütteraggregat (TRF) als auch mit einem Einschneckenextruder kombiniert werden. Die Strainerzelle ist die bevorzugte Lösung für alle Fälle, in denen unabhängig von den Mischlinien nur ein Teil des Produktspektrums gefiltert werden soll. Im konkreten Fall fiel die Wahl auf eine Strainerzelle mit roll-ex 120 SF, einem Zahnradextruder mit 300 mm Strainerkopf, gefüttert von einer 115 mm, 6 L:D Einschnecke, für Durchsätze bis zu 750 kg/h. Der dazugehörige STC Streifenkühler 4000/1.8 sowie der Streifenableger FST 1/1a folgen auf den Strainer; ein Metalldetektor zur Eingangskontrolle sowie ein Tank zur Benetzung mit Trennmittel komplettieren die Anlage.

Als Compounder setzt PCT die Strainerzelle sowohl für technische Gummiwaren als auch im Reifensektor ein. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgte im Sommer 2014. Im Laufe der Monate kamen stetig weitere Produkte hinzu, inzwischen wird die Maschine vollkontinuierlich in 20 Schichten pro Woche betrieben. Die entwickelte Strainerzelle konnte nahtlos in die bestehenden Pro-



Verunreinigungen im Gummi erzeugen Fehlstellen. Hier am Beispiel eines Profils.

duktionsabläufe integriert werden und erfüllt alle spezifischen Anforderungen von PCT. Für den reibungslosen Betrieb sowie für Beschicken, Entladen und Reinigen der Anlage ist nur ein Bediener erforderlich. Der hohe Automatisierungsgrad, die kompakte Anordnung und die patentierte Lochscheibenreinigungsstation vereinfachen die anfallenden Arbeiten und erhöhen die Wirtschaftlichkeit signifikant. Aufgrund der genannten Vorteile der Strainerzelle erzielt PCT bereits in der momentanen Phase eine Kostenersparnis von 25 Prozent gegenüber der Altanlage. ■

### KONTAKT

Uth, Fulda  
info@uth-gmbh.com

## TECHNIK IM DETAIL

### Was ist Feinstrainern?

Als Feinstrainern bezeichnet man das Filtrieren von Kautschuk- oder Silikonmischungen mit Siebweiten ca. < 0.5 mm. Verunreinigungen werden dabei im Sieb zurückgehalten und so aus dem Materialstrom entfernt. Je nach Mischungsqualität und Siebweite werden für dieses Verfahren Drücke von mehreren hundert bar benötigt. Der Maschinenbauer Uth konzipiert und fertigt seit 30 Jahren Strainer-Anlagen. Am Standort in Fulda arbeiten derzeit 70 Mitarbeiter an kautschukfreundlichen Lösungen.

### Maschinendaten

- roll-ex 120 SF 115
- Rotorbreite Zahnradpumpe: 120 mm
- Schneckenextruder zur Fütterung: Ø 115 mm, 6 L:D
- Durchsatz: bis 750 kg/h
- Siebgröße: Ø 300 mm
- Arbeitsdruck: bis 500 bar
- Vier separate Temperierkreise
- Zweiteilige Lochscheibe mit Reinigungsstation

# Wo Wissenschaft und Praxis sich ganz nah kommen

**Deutsche Kautschuk-Tagung präsentierte sich als internationaler Treffpunkt** Mit einem Besucherrekord ging in Nürnberg die Deutsche Kautschuk-Tagung 2015 (DKT 2015) sowie die International Rubber-Conference 2015 (IRC) zu Ende. Der Veranstalter zählte über 3.500 Besucher der Fachausstellung. Weitere 1.000 Personen hatten sich für die gleichzeitig stattfindende Fachtagung mit über 120 Vorträgen registriert.

Fach- und Führungskräfte aus aller Welt schätzen das umfangreiche Programm und die Vielfalt der ausstellenden Unternehmen. Bereits die Nachfrage nach Ausstellungsflächen und Eintrittskarten im Vorfeld der DKT 2015 - IRC 2015 lag auf Rekordniveau. Der Veranstalter, die Deutsche Kautschuk-Gesellschaft, bot 287 Ausstellern die Möglichkeit ihr Portfolio zu präsentieren. Für die Besucher zudem ein höchst interessantes Programm mit 141 Vorträgen und 74 Poster, die Ergebnisse aktueller Forschung zeigten und Trends der Branche beleuchteten. Ein Forum von jungen Forschern sowie ein Fach-Symposium für Nachwuchskräfte und das Reifen-Symposium mit Schwerpunkt „Von der Wissenschaft zur Systemintegration“ ergänzten das umfangreiche Programm.

## DKG-Product Awards 2015

Die DKG zeichnet auf der DKT Produkte von besonders hoher Innovation aus.

Gewinner des Product Awards 2015 der Deutschen Kautschuk-Gesellschaft in der Produktkategorie „Technische Elastomer-Erzeugnisse, Reifen“ ist das Unternehmen Apollo Vredestein, Enschede, Niederlande, mit seinem Aktiven Frontspoiler „Air Master“. Die Aus-



Dr. Seshu Bhagavathula, Chief Technology Officer Apollo Tyres Ltd. nahm den Product Award der DKG entgegen.

zeichnung wurde durch den Vorsitzenden der DKG, Dr. Jörg Böcking, überreicht. Für das Unternehmen nahm Dr. Seshu Bhagavathula, Chief Technology Officer von Apollo Tyres Ltd., den Preis entgegen. Das prämierte Produkt ist konzipiert für Sportfahrzeuge und kommt bereits bei einem Premiumhersteller zum Einsatz. Die Jury unterstreicht in ihrer Entscheidung insbesondere das höchste Niveau bezüglich Kombination aus Konstruktion, Material, Funktion, Ästhetik in der Anwendung sowie in der Idee und deren Umsetzung (sowohl Fertigung als auch Bauteil). Dabei werden die typischen Eigenschaften von Elastomeren wie Robustheit, Elastizität und Luftdichtigkeit in Verbindung mit aufwändiger Sensorik genutzt. Durch geschwindigkeitsangepasste Verbesserung der Aerodynamik wird Energie eingespart. Insgesamt ist das Produkt auch aus ingenieurtechnischer Sicht rundum gelungen, optimal in Materialauswahl, Konstruktion, Funktion und Fertigungstechnologie als auch im Design.

In der Kategorie „Roh- und Hilfsstoffe“ hieß der Gewinner des Product Awards 2015 das Unternehmen Trinseo mit seinem Produkt Styrol-Butadien Copolymerkautschuk (SSBR). Die Auszeichnung wurde durch den scheidenden Vorsitzenden der DKG, Peter Steinl, überreicht. Für das Unternehmen nahm Dr. Sven Thiele, R&D Leader Process & Product Development Anionic, den Preis entgegen. Das prämierte Produkt ist konzipiert für die Herstellung von Reifen. Die Preisjury sieht in der Entwicklung das Potential für eine große Einsatzbreite, insbesondere vor dem Hintergrund des Reifenlabels, das eine Verbesserung mehrerer Reifen-Eigenschaften (Lautgeräusch, Nasshaftung, Rollwiderstand) gleichzeitig erfordert. Die komplexe Chemie erlaubt eine Verbesserung der Produkteigenschaften ge-



Prof. Günter Stein erhält die Erich Konrad Medaille der DKG.



Prof. Gert Heinrich wurde mit der Carl Dietrich Harries Medaille ausgezeichnet.

rade in Bezug auf die Wechselwirkung mit Silikatfüllern. Durch die Ölver Streckung kann auch der Aufwand bei der Mischungsherstellung vermindert werden. Die Ergebnisse des neuen funktionalisierten und ölverstreckten SBR-Kautschuks versprechen eine Verbesserung von Reifeneigenschaften sowohl für ruß- als auch kieselsäureverstärkte Reifenlaufflächen. Sie sind daher auch sowohl für PKW- als auch LKW-Reifen denkbar.

#### **Carl-Dietrich-Harries-Medaille an Prof. Gert Heinrich verliehen**

Im Rahmen der festlichen Eröffnung der DKT ehrte die DKG Prof. Gert Heinrich mit der Carl-Dietrich-Harries-Medaille, der höchsten Auszeichnung des Verbands. Gewürdigt werden mit dieser alle drei Jahre verliehenen Auszeichnung wissenschaftliche Leistungen im Bereich Kautschuk und Elastomere. Gert Heinrich gehört zu den herausragenden Persönlichkeiten der internationalen Kautschukwissenschaften. Er hat diese als Wissenschaftler, aber auch als Leiter der Materialforschung geprägt. Aktuell ist er als Professor für Polymerwerkstoffe an der Technischen Universität Dresden und als Leiter des Instituts Polymerwerkstoffe am Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden aktiv.

#### **Erich-Konrad-Medaille für Prof. Dr. Günter Stein**

Für Verdienste und Leistungen besonderer Art auf dem Gebiet der Kautschuk-Technologie hat die DKG Prof. Dr. Günter Stein von der Hochschule Rheinmain in Wiesbaden mit der Erich-Konrad-Medaille ausgezeichnet. Für seine Verdienste auf dem Gebiet der Kautschuk-Technologie wurde der mittlerweile Emeritierte nun - als erster Fachhochschulprofessor überhaupt - mit der Erich-Konrad-Medaille der DKG ausgezeichnet. Stein war als Professor für Chemie, Umweltanalytik und Polymerwerkstoffe an der Hochschule Rheinmain (emeritiert 2014) tätig. Zu seinen Forschungs- und Praxisschwerpunkten zählten die Aufklärung wesentlicher Mechanismen der Wechselwirkung Schwefel / Beschleuniger, aber auch die Gefahrstoff- und Umweltanalytik. Die DKG würdigt mit der Verleihung Steins Rolle als Mittler zwischen praxisnaher Forschung und industrieller Anwendung und anerkennt auch seine Beiträge zu den zahlreichen wissenschaftlichen Tagungen



v.l.n.r. Dr. Jörg Böcking, Dr. Christian Thomas, neues DKG-Ehrenmitglied und Peter Steinl.

der Gesellschaft. So beschäftigte der Professor sich und seine Studierenden mit vielen auch für die Allgemeinheit verständlichen Fragestellungen rund um Elastomere, zum Beispiel: Welche Inhaltsstoffe werden beim Gebrauch von Gummiartikeln abgegeben und können die Gesundheit des Benutzers beeinträchtigen? Auf Grundlage der Erfahrungen in diesem Bereich und einer Reihe von Projekten auf dem Gebiet der Umweltanalytik entwickelte Stein später eine Analyseverfahren, die es erstmals erlaubte, den Reifenabrieb in Feinstaub messtechnisch zu quantifizieren. Nach fast dreißig Jahren als Professor, vier Patenten und 111 betreuten Abschlussarbeiten reiht Günter Stein sich nun in die „Rubber Hall of Fame“ der DKG ein. Namensgeber für die nun an Stein verliehene Auszeichnung ist der Chemiker Erich

Konrad (1894-1975), der das Kautschuk-Zentrallaboratorium der I.G. Farben Werke in Leverkusen leitete.

#### **DKG-Plaketten verliehen**

Für besondere Leistungen auf dem Gebiet der Kautschuk-Forschung, Kautschuk-Technik und Kautschuk-Wirtschaft hat die DKG Günther Schülert, Dr. Thomas Barth und Wolfgang Pflug mit der Plakette der DKG ausgezeichnet. Dr. Jörg Böcking, DKG-Vorsitzender, würdigte auch das ehrenamtliche Engagement der drei Preisträger.

Günther Schülert war von 2006 bis 2013 Vorsitzender der Bezirksgruppe Ost der DKG. Er hat in dieser Position entscheidend dazu beigetragen, das aktive Elastomer-Netzwerk in Ostdeutschland zu stärken und zu erweitern. Dabei hat er den Erkenntnisgewinn um Kautschuk und Elastomere



Das Trinseo-Team mit Dr. Sven Thiele, R&D Leader Process & Product Development Anionic, Dr. Christian Döring, Dr. Michael Rössle, Daniel Heidenreich und die DKG-Vorstandsmitglieder Dr. Jörg Böcking (li), Peter Steinl (re).

und den zwanglosen Meinungs- und Informationsaustausch in eine optimale Balance gebracht. Durch seinen großen persönlichen Einsatz und seine verbindliche Art, verbunden mit einem unkonventionellen Stil, steht er für den integrierenden, kooperativen Ansatz der DKG.

Dr. Thomas Barth war viele Jahre maßgeblich für die Kautschukindustrie im Bereich Forschung und Entwicklung tätig, so als Leiter und Gestalter der Zentralen Forschung einer weltweit aktiven Unternehmensgruppe. Als ausgebildetem Maschinenbau-Ingenieur galt seine besondere Hingabe der Gestaltung von Produkten und Prozessen. Von 2006 bis 2009 repräsentierte er als Vorsitzender der DKG die herausragende Forschungs- und Entwicklungskompetenz der gesamten Branche.

Wolfhard Pflug war viele Jahre Impulsgeber und Geschäftsführer für Unternehmen der Kautschukindustrie. Als Ingenieur hat er insbesondere hinsichtlich technischer Fragestellungen und der Entwicklung technisch innovativer Lösungen Bedeutendes geleistet. Von 1985 bis 1987 repräsentierte er als Vorsitzender der DKG die Mission der Ge-

sellschaft, das Wissen um Kautschuk und Elastomere zu fördern und zu verbreiten.

#### **DKG-Ehrenmitgliedschaft für**

Dr. Christian Thomas wurde zum Ehrenmitglied ernannt. Die Ehrenmitgliedschaft würdigt damit die besonderen Verdienste von Thomas um die Verwirklichung der Satzungsziele der Gesellschaft: der Förderung und Verbreitung des Wissens über Kautschuk und Elastomere. Thomas, DKG-Mitglied seit 1981, war von Herbst 1999 bis 2013 ehrenamtlich für die Gesellschaft in Leitungsfunktionen tätig. So übernahm er 2000 die Leitung der DKG-Bezirksgruppe Niedersachsen, die unter seiner Führung mit der Gruppe Hamburg zur DKG-Bezirksgruppe Nord zusammengeführt wurde. Hauptberuflich für das Unternehmen Meteor Gummiwerke K. H. Bädje tätig, widmete sich Thomas seinem Ehrenamt mit viel Engagement, bis er 2013 nach 13 Jahren die Leitung der DKG-Bezirksgruppe Nord abgab. Bis dahin hatte er ehrenamtlich über 34 wissenschaftliche Tagungen organisiert und damit den Satzungszweck der DKG in besonderem Maße verwirklicht.

#### **Positives Ergebnis mit Perspektive für 2018**

„Diese Tagung ist ein rundum positives Erlebnis für Besucher und Aussteller“, so das Resümee von Dr. Jörg Böcking, Vorsitzender der gastgebenden Deutschen Kautschuk-Gesellschaft (DKG) und CTO der Freudenberg Gruppe, Weinheim. „In Nürnberg hat sich gezeigt: Die Kautschukbranche mit ihren Zulieferern, Verarbeitern und Wissenschaftlern ist für die global ständig steigenden Herausforderungen an Produkte und Qualität gerüstet. Dies gilt insbesondere für die deutsche Branche“, so Böcking weiter.

Die nächste Deutsche Kautschuk-Tagung (DKT) findet 2018 in Nürnberg statt, die nächste DKT/IRC im Jahr 2021. Träger und Organisator ist dann erneut die Deutsche Kautschuk-Gesellschaft e.V. (DKG) in Kooperation mit dem Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie (wdk), beide mit Sitz in Frankfurt/Main. ■

#### **KONTAKT**

DKG, Frankfurt,  
info@dkg-rubber.de

## TECHNIK IM DETAIL

### **DIN EN 45545-2 - Bahnanwendungen - Brandschutz in Schienenfahrzeugen**

Dieser zweite Teil der DIN EN 45545 legt die Brandschutzanforderungen an Werkstoffe und Komponenten für Schienenfahrzeuge nach der EN 45545-1 fest.

Weitere Angaben zum Inhalt der DIN EN 45545-2 „Bahnanwendungen“:

Die Betriebs- und Bauartklassen nach EN 45545-1 werden verwendet, um die Gefährdungsstufen (Hazard Level; HL) zu ermitteln, nach denen sich die Anforderungen des Klassifizierungssystems orientieren. Für jede Gefährdungsstufe legt dieser

Teil die Prüfmethode, Prüfbedingungen und die Anforderungen an das Brandverhalten fest.

#### **Hinweis für den Anwender:**

Die EN 45545-2 wurde aus bestehenden Brandschutz-Vorschriften für Schienenfahrzeuge des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC) und verschiedener europäischer Staaten entwickelt. Maßnahmen, die die Erhaltung der Fahrzeuge im Brandfall sicherstellen, gehören nicht zum Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm.

#### **Welche Änderungen wurden gegenüber der DIN CEN/TS 45545-2:2009-07 vorgenommen?**

Das Dokument wurde den derzeitigen Gegebenheiten von Technik, Wissenschaft und Forschung angepasst. Die in diesem zweiten Teil enthaltenen Anforderungen

berücksichtigen die derzeitigen Betriebsbedingungen des öffentlichen Schienenverkehrs in Europa, unter Verwendung der Betriebsklassen und Bauartklassen, die in EN 45545-1 festgelegt sind.

#### **Warum technische Regeln von Beuth?**

Der Beuth Verlag bietet 350.000 nationale und internationale Normen sowie technischen Fachtitel an. Die Produkte können im Web-Shop recherchiert wie bezogen werden und stehen fast immer zum direkten Download zur Verfügung. Der Beuth Verlag ist eine Tochtergesellschaft des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Die Norm EN 45545-2 wurde im August 2013 ausgegeben und kann unter [www.beuth.de](http://www.beuth.de) vorbestellt werden.



Bild: mattheo avanzi - fotolia.de

**Die neue Norm für Bahnanwendungen setzt hohe Anforderungen an Gummi-Bauteile.**

**„Wir ernteten ein sehr positives Feedback für die neuen halogenfreien und nach EN 45545-2 / HL3 zertifizierten Flammenschutzmischungen, die zum Beispiel für den Einsatz in Bahnen und Fernbussen geeignet sind.“**

**Dr. Andreas Spittel**, Geschäftsführer Compounds, Pfäffikon, Schweiz



Bild: KGK, ega

► Compounds konnte zwei neue flammgeschützte EPDM-Mischungen präsentieren. Die Mischungen haben eine Härte von 50 und 60 Shore A. Für eine der beiden Mischungen liegt bereits ein Zertifikat nach EN 45545-2 HL3 vor. Sie punktet vor allem mit einer besonders hohen Zugfestigkeit von mehr als 8 Mpa. Beide Mischungen sind extrudierbar.



Bild: KGK, ega

▲ Klaus-Wolfgang Jacobsen stellte fest, dass sich die Anwender speziell im Hinblick auf die DIN EN-45545 die Erfüllung weiterer Anforderungssätze durch Mischungsqualitäten im Bereich kleiner Shore 70 A wünschen.

**„Es wird nach Mischungen mit guten mechanischen Eigenschaften gefragt, die dabei gleichzeitig den Anforderungssätzen R1, R7 usw. entsprechen. Diese Anforderungssätze enthalten für uns, das heißt den Lieferanten aus dem Bereich der DIN 5510 mit der seitlichen Flammausbreitung und der maximalen Wärmefreisetzungsrate neue und teure Prüfmethoden.“**

**Dr. Klaus-Wolfgang Jacobsen**, Leitung PCT Chemie / Prüfwesen, Phoenix Compounding Technology, Hamburg

**„Flammenschutzmischungen konform der Europäischen Norm EN-45545 sind derzeit ein heiß diskutiertes Thema in der Gummi-Branche. Wir waren überrascht von all den Reaktionen.“**

**Johan Makaske**, Marketing & Sales, Polycomp, Vorden, Niederlande

► EPDM-Compounds von Polycomp erfüllen die Anforderungen für das Zertifikat EN45545-2, Klassen R22, HL3 und R23, HL3.



Bild: KGK, ega



Bild: KGK, ega

◀ Der Stand von Gummiwerk Kraiburg war gut besucht.

**„Für uns als spezialisiertem Hersteller von Kautschukmischungen bietet die DKT ein ideales Forum zur Präsentation unseres Leistungsspektrums. Deshalb werden wir auch 2018 wieder dabei sein.“**

**Martin Krause**, Leiter Vertrieb & Marketing, Gummiwerk Kraiburg, Waldkraiburg



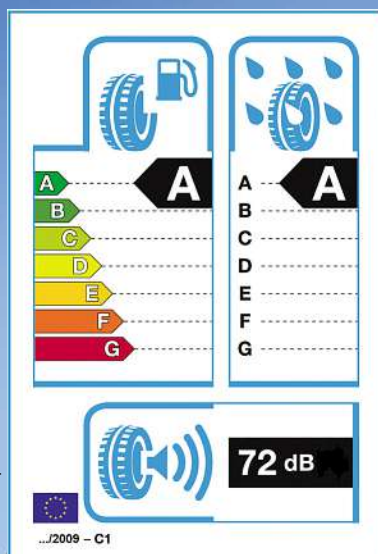




.... UND NOCH MEHR IMPRESSIONEN

[www.kgk-rubberpoint.de](http://www.kgk-rubberpoint.de)

In der der Bildergalerie DKT 2015 auf [www.kgk-rubberpoint.de](http://www.kgk-rubberpoint.de) sind weitere Fotos von der Messe zu entdecken.



The European Tyre Labelling Regulation (EC/1222/2009).

Source: European Parliament and Artur Marciniak - fotolia.com

# The Recovery of Silica from End-of-Life-Tyres

**Pyrolysis as alternative source of silica filler** The advent of the European tyre labelling regulation EC/1222/2009 and tightening of the US Corporate Average Fuel Economy (CAFE) regulations have seen major improvements in the fuel efficiency offered by tyres<sup>[1]</sup>. Similar labelling systems have also been implemented in Brazil, South Korea and Japan, with China set to follow suit in the near future<sup>[2,3]</sup>. These drivers have seen increased utilisation of silica filler in place of carbon black. Recycling might be an alternative source to supply the need.

## Autor

**Chris Norris**,  
Artis, Melksham, Wiltshire, UK,  
chris.norris@artis.uk.com.  
**M. Bennett**

**A**nalysis of a selection of European energy efficient tyres from leading manufacturers highlights that the tread compounds now contain as little as 2wt% carbon black. In addition to compositional trends, the world demand for tyre production

is expected to double over the next 20 years<sup>[2,4]</sup>. It is clear that raw materials from alternative sources will be necessary to satisfy these predicted levels of volume growth.

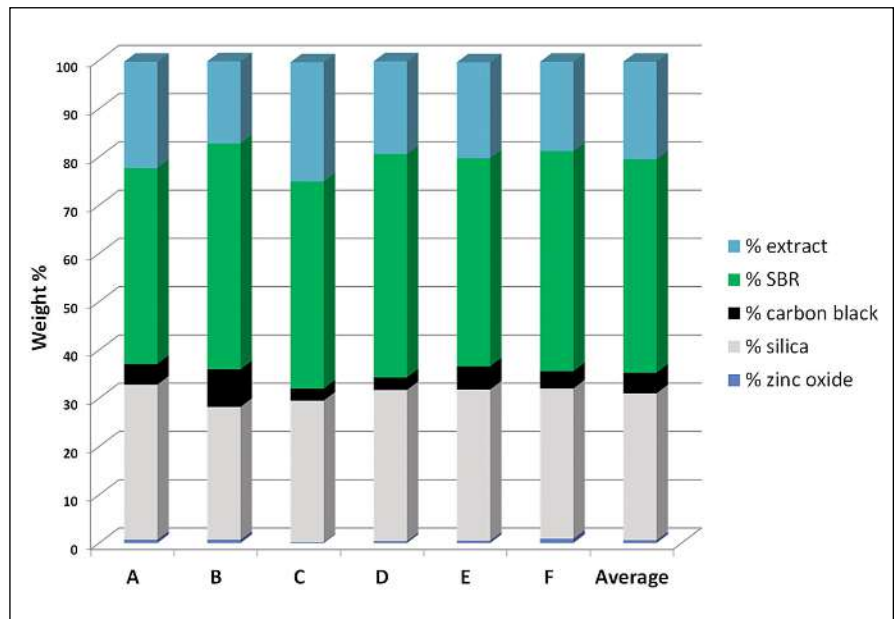
Recycling of tyres, through processes such as pyrolysis, offers an alterna-

**1 Model tread formulation**

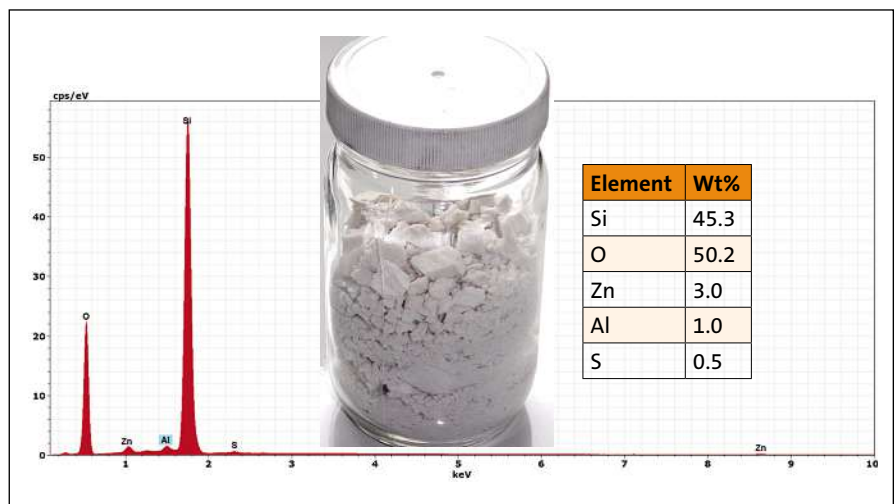
Ingredient	p/hr
Solution SBR (oil extended)	137.5
N375 carbon black	10
Silica (7000GR or rSilica)	70
Zinc Oxide	1.3
Wax	1.5
6PPD	1.5
TMQ	1
PEG4000	2
Stearic Acid	1
Silane coupling agent	6
CBS-80 %	1.5
Sulphur	1.5

tive source of raw material whilst assisting with the environmental issues associated with end-of-life tyres. The use of pyrolysis to recover carbon black filler (rCB) is nothing new, with a selection of products now commercially available that offer reinforcing potential similar to N600-N700 series carbon blacks. The very low carbon black content in certain passenger car tyre compounds, as a result of recent advances in rolling resistance, suggest these are not going to be a suitable feedstock for rCB production. Indeed, further stringent regulations are predicted to drive the trend for increased silica utilisation to sidewall and truck tyre compounds [3,5]. Based on these observations, Artis have developed a process for the recovery of silica from waste rubber compounds. The process, currently awaiting patent approval, utilises a conventional pyrolysis approach to recover gases and oils during polymer volatilisation, then uses a secondary process to recover the silica filler. For the case study presented herein, tread and sub-tread compounds were used as the feedstock, yielding a high silica content (~95wt%) product. Current main focus has been to assess the quality of the rSilica for use in real life tyre tread formulations.

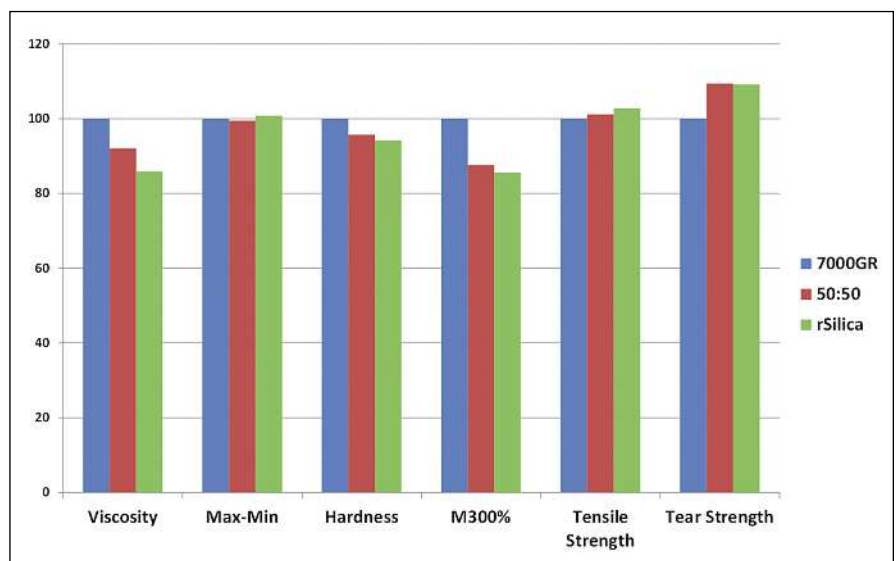
The rSilica was evaluated at 70p/hr loading in model tread formulation alongside a control containing virgin Ultrasil 7000GR silica and a further compound containing a 50:50 blend of the two. Compounds were prepared using a reactive mix cycle to ensure successful coupling of the silica and silane. The results generated from standard rheometry and physical property testing are summarised in a Figure



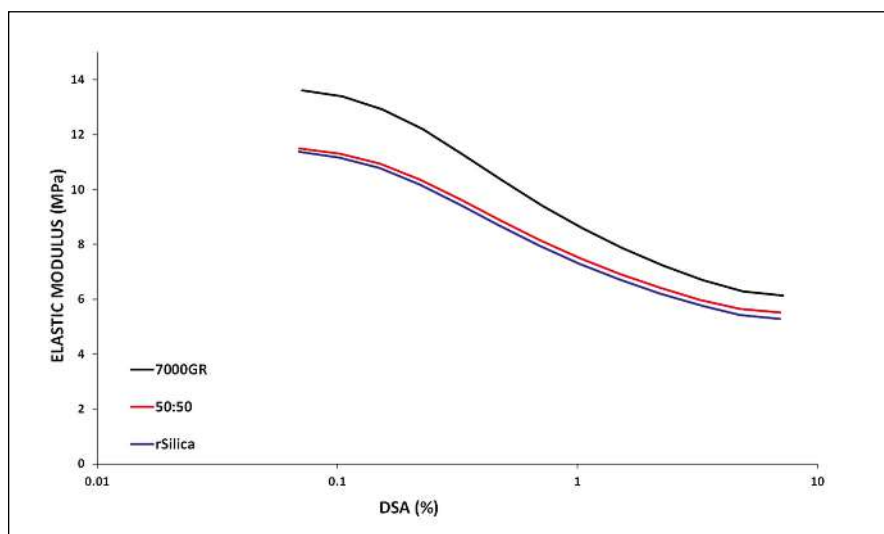
Bulk composition of leading brand tyre tread compounds.



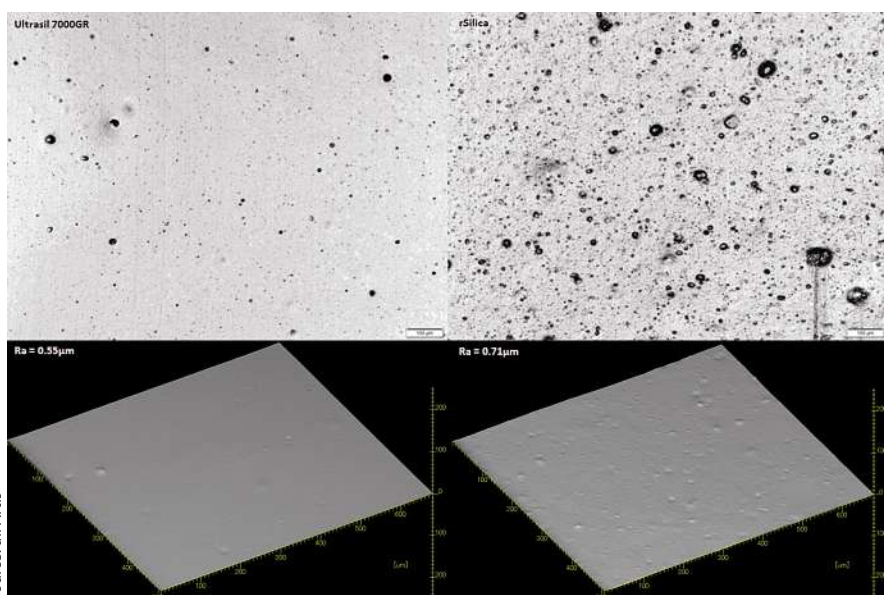
Silica appearance and elemental composition.



In-rubber performance of rSilica.



The effect of strain on elastic modulus.



Source: all Artis

Dispersion assessment of rSilica.

re. Compared to the control, the rSilica offered:

- Similar Max-Min moving die rheometer values (MDR), indicating the recycled material did not interfere with the cure chemistry utilised. Tensile strength was also similar.

- Slightly reduced viscosity, hardness and stiffness (M300% modulus). This is likely related to the ~5wt% of non-reinforcing components (such as ZnO) in the recycled material.

- Slightly improved tear strength, in-line with the stiffness reduction.

Properties related to tyre tread performance, such as abrasion resistance, strain and temperature dependency of modulus and  $\tan \delta$  were also investigated. Akron abrasion testing did not reveal any statistically significant differences

between the compounds. Dynamic strain sweep testing highlighted a reduction in filler-filler interactions for the rSilica, as indicated by the difference between the low and high strain elastic moduli ( $\Delta E' = E'0 - E'\infty$ ). Slight reductions in energy loss parameters were also noted and are again attributable, at least in part, to the non-reinforcing content of the recycled filler. One of the important considerations for wet grip performance is the glass transition temperature of the compound; this was found to be unaffected when switching between the virgin and recycled silica's.

#### Dispersion of the rSilica was evaluated

Although the dispersion did not quite match that of the highly dispersible Ultrasil 7000GR, the level achieved is

very promising considering that no post-reactor processes were employed in the rSilica production. It is worthy of note that, during the recovery of carbon black through pyrolysis, carbonaceous residues generated during polymer volatilisation have a tendency to condense on the filler particles; the net result of this is to impair dispersability<sup>16</sup>. This issue is eliminated with the silica recovery process, offering an explanation to the levels of dispersion achieved without significant post-reactor polishing.

Although this article presents only a portion of the studies conducted by Artis to date, there is clear potential for utilisation of rSilica in real-life compounds. The major non-silica component in the rSilica is zinc oxide, commonly used as an activator in sulphur cure systems. Formulation adjustments to increase the effective silica loading and to utilise the zinc oxide within the recycled material are conceivable. The recycling process used to generate the rSilica is believed to be fully scalable and the company is actively seeking partners to try and make this a commercial reality. Further process optimisations and assessment of commercial viability, based on isolation of high silica content feedstock's, are the focus of current investigations. ■

1. Regulation (EC) No 1222/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters.
2. D. Shaw. Development of the tire market in China. TireTech 2015, Cologne, Germany.
3. T.A. Okel, J.J. Martin, R. Kollah. Silica morphology and functionality: enabling reduced tire sidewall energy losses. TireTech 2015, Cologne, Germany.
4. K. Akutagawa. Potential developments in rubber materials over the next decade. RubberCon 2014, Manchester, UK.
5. J.J. Martin, T.A. Okel, R. Kollah. Mixing silica in natural rubber: the impact of surface treatment and mixing parameters on performance, throughput and energy use. TireTech 2015, Cologne, Germany.
6. C.J. Norris, M. Hale, M. Bennett. Pyrolytic carbon: factors controlling in-rubber performance. *Plastics, Rubber and Composites*, 2014, 42, 245-256.

#### KONTAKT

Artis, Melksham, UK  
enquiries@artis.uk.com

# Internationale Klasse und **hohe Exklusivität** stehen für das Medium der Kautschuk- und Gummi-Industrie. Autoren aus aller Welt informieren in der **KGK** über neueste Entwicklungen und Technologietrends. **Hochwertige Informationen** mit redaktioneller Tiefe.



## Jetzt anfordern:

Fax: +49 (0) 8191 125-799, Tel.: +49 (0) 8191 125-777, E-Mail: [leserservice@huethig.de](mailto:leserservice@huethig.de) oder schnell über Ihr Mobiltelefon QR-Code scannen.



Ich abonniere KGK (9 Ausgaben pro Jahr).  
Grundpreis: € 249,-  
(zuzüglich Versandkosten Inland € 11,- und MwSt.)  
Gesamtpreis Inland: € 278,32

\_\_\_\_\_ Firma

\_\_\_\_\_ Abteilung (mit interner Kurzbezeichn.)

\_\_\_\_\_ Name, Vorname

\_\_\_\_\_ Firmenanschrift (Straße, Nr.)

\_\_\_\_\_ Firmenanschrift (PLZ, Ort)

\_\_\_\_\_ Tel.\*

\_\_\_\_\_ E-Mail\*

**Datenschutzhinweis:**  
Meine angegebenen Kontaktdaten werden von der Hühthig GmbH gespeichert und genutzt. Ich kann meine Einwilligung jederzeit unter [leserservice@huethig.de](mailto:leserservice@huethig.de) widerrufen.

**Widerrufsbelehrung:**  
Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich berechtigt bin, die Bestellung des Abonnements ohne Angabe von Gründen innerhalb von vier Wochen nach Absendung dieses Auftrags in Textform zu widerrufen. Zur Wahrung der Widerrufsfrist genügt die rechtzeitige Absendung. Der Widerruf ist zu richten an: Leserservice Hühthig GmbH, Justus-von-Liebig-Str. 1, D-86899 Landsberg.

\_\_\_\_\_ Datum, Unterschrift

\_\_\_\_\_ Datum/Unterschrift \*freiwillige Angaben

Produktion von EPDM-Ringen auf einer horizontalen Spritzgießmaschine mit einem 16-fach Werkzeug.

## Von der Entwicklung zur Fertigung

**Prozesssicheres Vulkanisieren und Nadelverschluss-Kaltkanaltechnik** Die Ingenieure von Winkelmann entwickelten gemeinsam mit den Experten für den Antriebsstrang von Jaguar einen Schwingungsdämpfer mit zwei elastomeren Komponenten. Für die Fertigung des hybriden Bauteils setzt der Zulieferer die Nadelverschlusskaltkanaltechnik ein. Michael Metzinger, Entwicklung Elastomertechnik (Material-Prozess-Werkzeug), gibt einen Einblick in den Entwicklungsprozess.

Der Entwicklungsprozess des Bauteils erforderte zwei Jahre Entwicklung, Tests und Umsetzung in der Fertigungstechnologie. Die Projektphasen gliedern sich generell in Simulation, CAD-Konstruktion, FEA (Finite Elements Analysis) und FMEA-Analyse (Failure Mode and Effects Analysis), Prüfstand und Messung, sowie DVP (Design Verification Plan) und Einbautests. Dies ist dem anspruchsvol-

len Lastenheft und einem exakt geforderten Bewegungsspiel von +/- 17 Grad geschuldet. Bis zur Baugruppenfreigabe, und parallel in der laufenden Produktion, ergibt sich ein hoher Prüfaufwand: So werden die Riemenscheiben auf ca. 10 Mio. Lastwechsel geprüft, Temperaturen von bis zu 140°C ausgesetzt und die akustische Frequenzabsorption axial und radial geprüft. Der Drehschwingungsdämpfer mit integrierter, entkoppelter Riemenscheibe von Jaguar zählt aus diesen Gründen zu den leistungsfähigsten und anspruchsvollsten Riemenscheiben: Er läuft in der Fertigung mit einer maximalen Kapazität von 660.000 Stück/Jahr im mittleren Losgrößen- und oberen Qualitätssegment.

### Fertigung der Baugruppe

Die Fertigung der hybriden Bauteilgruppe erfolgt auf vertikalen Maschinen MTF 2600/280 PC5000 touch advanced von Maplan mit „Fast Double Shuttle“-Technik. Der Shuttle ist mit Doppel-Führungen zum Aufnehmen der Mittelplatten versehen. Gleiche Doppel-Führungen sind auch auf den Auswerferleisten des hydraulischen schließseitigen Auswerfers vorhanden. Die Besonderheit dieser Lösung ist, dass sich zwei identische Mittelplatten alternierend in der Maschine und in der Außenstation befinden. Der Vorteil des Fast Double Shuttles liegt darin, dass die beiden Mittelplatten gleichzeitig verschoben werden, das heißt während die Mittelplatte A aus der

### Autor

Guido Radig, Provvido PR & Communications, Bergkirchen  
radig@provvido.de



Bild: Provido

**Michael Metzinger, Entwicklung Elastomertechnik (Material-Prozess-Werkzeug) sieht in der ergonomischen Bedienerhöhe der vertikalen Maschine eine Erleichterung für das Einlegen und die Entnahme ohne zusätzliche Podeste.**



Bild: Winkelmann

**Schnittbild: Drehschwingungsdämpfer mit integrierter, entkoppelter Riemenscheibe.**

Maschine gezogen wird, wird die Mittelplatte B gleichzeitig in die Maschine geschoben. Dadurch und durch ein neues, extrem schnelles servomotorisches Antriebskonzept können die Nebenzeiten im Vergleich zu herkömmlichen Mittelplattenverschiebungen deutlich reduziert werden. Als weiteres interessantes Feature hat der Fast Double Shuttle einen hydraulisch betätigten Auswerfer inklusive einer federandockbaren Heizplatte. Die Heizplatte verhindert ein Auskühlen der jeweils außen befindlichen Mittelplatte. Mit dem Ausstoßer werden die fertigen Gummi-Metall-Teile aus der Mittelplatte ausgestoßen, sodass sie der Bediener mühelos entnehmen kann.

### Energieoptimierte Produktion

Der Energiebedarf des Prozesses entfällt hauptsächlich auf die in den Temperiergeräten verbauten Pumpenaggregate. Durch eine intelligente, bedarfsabhängige Regelung des Förderstromes wird der Energieverbrauch der DCI-Temperiergeräte an den MTF 2600/280-Maschinen um bis zu 80 % reduziert und gleichzeitig die Regelgüte wesentlich verbessert. Die Cool-Drive-Antriebstechnologie bietet zusätzliche Leistung für schnelle Trockenlaufzeiten, bei noch geringerem Energieeinsatz. Diese servoregelten Hydraulikantriebe, hier zusätzlich ausgeführt mit einem parallelen Triebsatz für noch schnellere Zykluszeiten verringert den Energiever-

brauch für den Antrieb um bis zu 50 %, bei gleichzeitiger Reduktion der Trockenlaufzeit. Die Lärmemission fällt um die Hälfte (-10dB).

### Argumente für die Nadelverschlusskaltkanaltechnik

Die eingesetzten 4-fach-Werkzeuge vom Peta Formenbau haben einen 8-fach Nadelverschlusskaltkanal - also vier Formnester mit je zwei Anspritzpunkten je Bauteil. Beim Einsatz von Nadelverschlussdüsen bildet bei Winkelmann die Nadelspitze selbst einen Teil der formgebenden Kavität, welche an jede Fläche angepasst werden kann. Dadurch entsteht ein kaum erkennbarer Anspritzpunkt am produzierten Teil.



Bild: Peta Formenbau

**Werkzeug mit 16-fach Nadelverschlusskaltkanaltechnik.**



Bild: Provido

**Der Fast Double Shuttle ermöglicht eine synchrone Mittelplattenverschiebung in einem schnellen Zyklus.**



Nadelverschlusskaltkanäle vom Peta Formenbau ermöglichen die individuelle Einstellung jeder einzelnen Düse. Die lange Führung der Nadeln und der stufenlose Einstellmechanismus des hydraulisch angetriebenen Öffnungs- und Schließhubes sorgen für eine verschleißarme und präzise Funktion. Das zum Einsatz kommende Kaltkanalsystem ist ein modulares System. Verschiedene Düsentypen können einfach und schnell aus standardisierten Baugruppen heraus konfiguriert werden. Durch die Anordnung der Temperierkanäle für die Verteilung des flüssigen Temperiermediums nahe an den Materialverteilerkanälen lässt sich der Kaltkanal gut temperieren. Eine thermische Tren-

nung zwischen der heißen Kaltkanalheizplatte und dem eigentlichen Kaltkanal ist darüber hinaus elementar wichtig. Nur wenn diese Abschottung optimal ausgelegt ist, werden unerwünschte „kalte“ Temperatureinflüsse in die Kavitätssplatte vermieden und hohe Gleichmäßigkeit bei der Teileproduktion erreicht. Im Materialverteilerbereich ist dabei durch die Elementetechnik stets eine Balance aller Fließwege gewährleistet. Die eckenfreien, rheologisch günstig konzipierten Umlenk- und Verteilerelemente des NVKK ohne Totzonen schonen das Material und reduzieren die Reinigungsintervalle. Das bedeutet letztlich eine hohe Verfügbarkeit, eine signifikante Einspa-

rung von Material, bestmögliche Zykluszeiten und eine gleichmäßige, ausgezeichnete Qualität der produzierten Bauteile. ■

Teil 1 des Berichts über Winkelmann mit dem Titel „Hybride Blechbaugruppen mit Elastomeren und Duroplasten“ ist erschienen in KGK 5/2015, S. 10

#### KONTAKT

Winkelmann Group, Ahlen  
info@winkelmann.group.de  
Maplan, Ternitz, Österreich  
office@maplan.at  
Peta Formenbau, Bad Soden-Salmünster  
peta@peta-formenbau.de

## NACHGEHAKT

### Elastomer-Bauteile entwickeln und in eine effiziente Fertigung übertragen

**Welche Anforderungen stellen Automotive-Kunden an Winkelmann als Entwicklungspartner?**

**Michael Metzinger:** Der Kunde muss sich auf unsere Expertise in Entwicklung und Materialwahl verlassen können. Wir müssen die Frage beantworten, wie man welche Frequenzen, die durch Schwingungen des Motors oder am Antriebsstrang ausgelöst werden, wirksam unterbindet oder reduziert. Gleichzeitig ist uns die Fertigungskompetenz wichtig, denn wir fertigen schließlich diese Riemenscheiben und tragen somit das Fertigungsrisiko. Das bedeutet, dass wir wirtschaftliche und prozessfähige Lösungen in der Fertigung anstreben.

**Welche Maßnahmen wenden Sie in der Fertigung dazu an?**

**Michael Metzinger:** Prozesssicherheit bedeutet: Bei klassischen EPDM-Ringen produzieren wir „doppelt breite“ Ringe, die wir nach dem Vulkanisieren vollautomatisiert auftrennen. Faktisch ergibt sich eine Verdoppelung der Kapazität, ohne dass wir eine aufwendigere Etagenwerkzeugtechnik nutzen müssen. Man muss nicht zwangsläufig auf höhere Kavitätanzahlen ausweichen, deren Formfüllung dann immer komplexer wird in Steuerung oder Überwachung. Für das Qualitätsniveau sind solche Strategien immer eine Überlegung wert. Daneben versuchen wir, die Bauteiltoleranzen einzuengen oder die Heizzeiten zu reduzieren. Das ist natürlich noch nicht alles. Zur optimalen Prozessführung setzen wir mehrere Temperaturfühler, je nach Werkzeugaufbau ein und regeln sehr exakt, wie das Formnest gefüllt und wie vulkanisiert wird. Auch eine genaue Analyse mittels Fließweg-Simulation oder Maßnahmen für ein thermisches Gleichgewicht von Werkzeug und Maschine gehören zu unseren Aufgaben.

**Welche Bedeutung hat die Maschinen- und Werkzeugtechnik?**

**Michael Metzinger:** Beides hat in Kombination und Abstimmung einen entscheidenden Einfluss auf die Güte des Bauteils und die sich ergebenden Stückkosten. Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit in Verbindung mit einer benutzerfreundlichen Bedienung sind die wesentlichen Parameter, an denen wir unsere Fertigungstechnik messen müssen.

**Sie verwenden die Nadelverschlusskaltkanaltechnik. Welche Vorzüge sehen Sie hier?**

**Michael Metzinger:** Wir starteten bereits im Jahr 2009 mit der Kaltkanal-Technik. Die Antwort auf Ihre Frage ist eigentlich sehr puristisch: Der Gummi wird in die heiße Kavität eingespritzt und damit der temperaturabhängige Vernetzungsprozess aktiviert. Durch die Verwendung eines Kaltkanals kann das unvernetzte EPDM-Material bis zum Injektionspunkt gekühlt und materialschonend geführt werden. Ein Kaltkanal mit hydraulischem Nadelverschluss hat sich dabei bei uns bewährt. Der Grund ist einfach: Wir steuern alle Nadeln gleichzeitig mit einem Hydraulikventil an. Die Nadelspalten (Nadelhub) müssen nur noch mechanisch auf einen optimalen Arbeitspunkt eingestellt werden. Dabei sind erhebliche Zykluszeiteinsparungen möglich. Der Nadelspalt wird so eingestellt, dass der mögliche hohe spezifische Spritzdruck der FIFO-Spritzeinheit von Maplan im Rahmen der Materialgrenzen voll ausgenutzt wird. Wenn diese Einstellungen optimal vorgenommen worden sind, wird so die maximale Mischungserwärmung über die Friktion erzielt, unmittelbar bevor die Mischung in das eigentliche Nest strömt. Durch die hohe Eintrittstemperatur werden kürzere Heizzeiten erreicht, da das Material beim Eintritt ins Formnest oft bereits nahe an der Vulkanisationstemperatur liegt.

**Wie wurden die Elastomeremaschinen an die Werkzeuge adaptiert?**

**Michael Metzinger:** Bezogen auf den Drehschwingungsdämpfer des Jaguars ergänzen wir auf Vertikal-Maschinen diese Einlegetechnik des hybriden Bauteils durch einen „Fast Double Shuttle“ in ergonomischer Höhenanordnung zur verbesserten Teilezuführung und -entnahme.

**Wie hoch waren die Investitionskosten für das Projekt Drehschwingungsdämpfer für den Jaguar?**

**Michael Metzinger:** Das ist natürlich schwer zu beziffern, weil auch die Automation anzupassen war. Ich gehe grob von einem Volumen von 3 bis 4 Mio. EUR aus. ■

Medienleitungen · Projektlinjektions-  
technik · Spritzgießen

Zur Herstellung endlosfaserverstärkter, elastomerer Medienleitungen wird als Alternative zum etablierten Extrusionsverfahren das Spritzgießsonderverfahren Projektlinjektionstechnik untersucht. Die Untersuchungen zeigen, dass in einem einstufigen Spritzgießprozess komplexe, endlosfaserverstärkte Medienleitungen aus Flüssigsilikonkautschuk hergestellt und mittels der Prozessparameter die Bauteilqualität wie bspw. die Restwanddicke gezielt eingestellt werden können.

Projectile injection technique – Injection moulding of fibre-reinforced, elastomeric media hoses

Media hoses · projectile injection technique · injection moulding

For the manufacturing of fibre-reinforced, elastomeric media hoses the projectile injection technique, a special injection moulding process, is examined as an alternative to established extrusion process. Our investigations show that in an one-step injection moulding process complex, fibre-reinforced media hoses can be made of liquid silicone rubber. Process parameters can be used to adjust specifically the part quality such as the residual wall thickness.

Abbildungen und Tabellen:  
Mit freundlicher Unterstützung der Autoren.

# Projektlinjektionstechnik – Spritzgießen endlosfaserverstärkter, elastomerer Medienleitungen

Flexible Medienleitungen aus Elastomeren müssen hohen Qualitätsanforderungen genügen. Das Einsatzgebiet flexibler Medienleitungen erstreckt sich von Anwendungen im Automobil, über Anwendungen in „Weißer Ware“ bis hin zum Einsatz in industrieller Kühl- und Gefrier-technik. Aufgrund des breiten Einsatzspektrums ergeben sich eine Reihe von Anforderungen: Zum einen müssen flexible Medienleitungen Fluide prozesssicher leiten, wobei eine chemische Beständigkeit gegenüber den Fluiden und eine Temperaturresistenz gewährleistet sein muss. Zum anderen müssen trotz einer geforderten Dimensionsstabilität Vibrationen im Anwendungsfall ausgeglichen werden können. Während die Dimensionsstabilität häufig über eine zusätzliche Faserverstärkung erreicht werden kann, eignen sich insbesondere Elastomere als Matrixwerkstoffe für Medienleitungen. Elastomere weisen über weite Temperaturbereiche ein elastisches Materialverhalten auf, sodass sowohl für Hoch- als auch Tieftemperaturanwendungen ein flexibler Werkstoff zur Verfügung steht. Neben der Temperaturresistenz kann über eine geeignete Polymer- und Füllstoffwahl die Beständigkeit gegenüber aggressiven Prozessfluiden oder der Umwelt eingestellt werden [1].

Das breite Anforderungsspektrum hat zur Folge, dass flexible Medienleitungen, die heutzutage beispielsweise im Kühlswassersystem von Verbrennungsmotoren eingesetzt werden, aus drei charakteristischen Schichten bestehen (Bild 1). Die Innenschicht leitet das Fluid und steht in direktem Kontakt zu diesem. Die Deckschicht schützt gegenüber externen Umwelteinflüssen. Eine Faserverstärkung als mittlere Schicht verleiht der Medienleitung die geforderte Dimensionsstabilität und nimmt äußeren Kräften auf, die auf die Medienleitungen wirken.

Der charakteristische Aufbau dreischichtiger Medienleitungen wird heute in einem ressourcen-, kostenintensiven und mehrstufigen Verfahren realisiert (Bild 2). In den ersten beiden Prozess-

schritten wird die innere Schicht extrudiert und gekühlt. Anschließend wird die Faserverstärkung auf die innere Schicht aufgebracht, sodass im zweiten Extrusionsprozess die äußere Schicht hergestellt werden kann. Für die innere und äußere Schicht können unterschiedliche Elastomere zum Einsatz kommen. Der noch unvernetzte und endlose Formschlauch wird in Prozessschritt 6 auf die notwendige Länge konfektioniert. Im Folgenden werden die konfektionierten Schläuche händisch auf Stahldorne aufgezogen und in Autoklaven vulkanisiert. Falls weitere Montageelemente oder Verzweigungen gefordert sind, muss der Prozess um etwaige Prozessschritte erweitert werden [2, 3].

In der von klein- und mittelständigen Unternehmen (kmU) geprägten Kunststoff- und kautschukverarbeitenden Industrie kann eine weitere Steigerung der Wirtschaftlichkeit insbesondere mit neuen und innovativen verfahrenstechnischen Ansätzen erzielt werden. Neue und innovative Ansätze bieten bspw. Spritzgießsonderverfahren [4, 5]. Der Vorteil von Spritzgießsonderverfahren liegt in der konsequenten Funktionsintegration in einem einstufigen Herstellungsprozess, sodass technische Formteile mit integrierten Funktionen effizient

## Autoren

Prof. Dr.-Ing. Ch. Hopmann,  
Dipl.-Ing. U. Recht

Korrespondenz:  
Dipl.-Ing. Ulf Recht  
Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen  
Pontstraße 49  
52062 Aachen  
Tel.: +49 (0)241 80-28355  
Fax: +49 (0)241 80-22316  
E-mail: recht@ikv.rwth-aachen.de

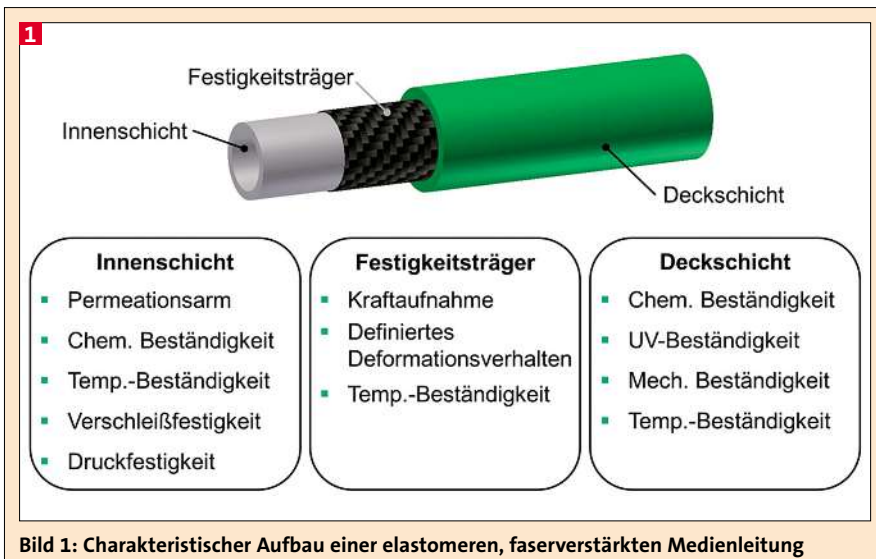


Bild 1: Charakteristischer Aufbau einer elastomeren, faserverstärkten Medienleitung

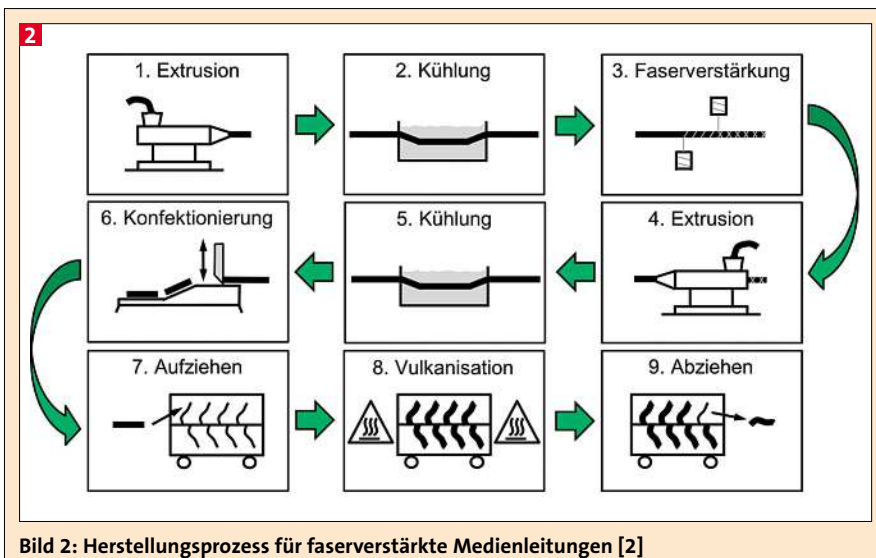


Bild 2: Herstellungsprozess für faserverstärkte Medienleitungen [2]

ent und mit hoher Reproduzierbarkeit hergestellt werden können [6]. Zur Herstellung endlosfaserverstärkter, elastomerer Medienleitungen bietet sich das Spritzgießsondervfahren Fluidinjektionstechnik (FIT) an, das in der Thermoplastverarbeitung bereits Serienreife erlangt hat [7].

Bei der FIT wird mittels eines Prozessfluids ein Hohlkörper während eines konventionellen Spritzgießprozesses erzeugt. Grundsätzlich kann zwischen drei Verfahrensvarianten der FIT unterschieden werden: die Gasinjektionstechnik (GIT), die Wasserinjektionstechnik (WIT) und die Projektilinjectionstechnik (PIT).

Der Prozessablauf ist für alle Verfahrensvarianten der FIT vergleichbar und lässt sich in zwei nacheinander ablaufende Vorgänge unterteilen. Analog zum konventionellen Kompaktspritzgießen wird Kunststoff/Kautschuk zunächst unter Druck in die Kavität des Spritzgießwerkzeugs eingespritzt. Anschließend wird dem Material über eine temperierte Werkzeugwand die zur Konsolidierung notwendige thermische Energie in Abhängigkeit des Materials zu- oder abgeführt. Über die Zeit bildet sich eine zunehmende, feste Randschicht aus, während im Formteilinneren aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit eine schmelzeflüssige Seele erhalten bleibt. In die schmelzeflüssige Seele wird nach Ablauf einer definierten Verzögerungszeit  $t_v$  das Prozessfluid injiziert, welches die Schmelze je nach Verfahrensvariante in zunächst ungefüllte (Aufblasverfahren) oder zusätzlich geöffnete Kavitätsbereiche (Nebenkavitätsverfahren) verdrängt (Bild 3) [8]. Das Prinzip der Hohlraumausbildung bei der WIT beruht genau wie bei der GIT auf den physikalischen Gesetzmäßigkeiten einer passiven Zweikomponentenströmung. Dementgegen verdrängt bei der PIT das Projektil die Schmelze und erzeugt den Hohlraum, wobei das Prozessfluid lediglich das Projektil antreibt [9].

Im Folgenden werden die bisherigen Untersuchungen zur FIT in der Elastomerverarbeitung dargestellt. Anhand der erzielten Ergebnisse und bestehenden Herausforderungen ist die FIT am IKV mit dem Ziel weiterentwickelt worden, die Wirtschaftlichkeit des Prozesses als auch die Bauteilqualität weiter zu steigern.

### Anwendung der Fluidinjektionstechnik in der Elastomerverarbeitung

Wehr untersuchte bereits die Herstellung flexibler Medienleitungen aus Flüssigsilikonkautschuk (LSR) mithilfe der GIT [10]. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die GIT zur Herstellung elastomerer Medienleitungen eingesetzt werden kann. Allerdings zeigen sich bei der Nutzung der GIT zahlreiche Schwierigkeiten: Typische Defekte der GIT-Bauteile sind Schaumbildung, Gasdurchbruch, Eingangsfehler und Oberflächendefekte. Zudem lässt sich mithilfe der GIT keine gleichmäßige Restwanddickenverteilung reproduzierbar herstellen.

Im Gegensatz zur GIT erfolgt die Formgebung der PIT auf dem Projektil. Somit kommt das Fluid erst nach der

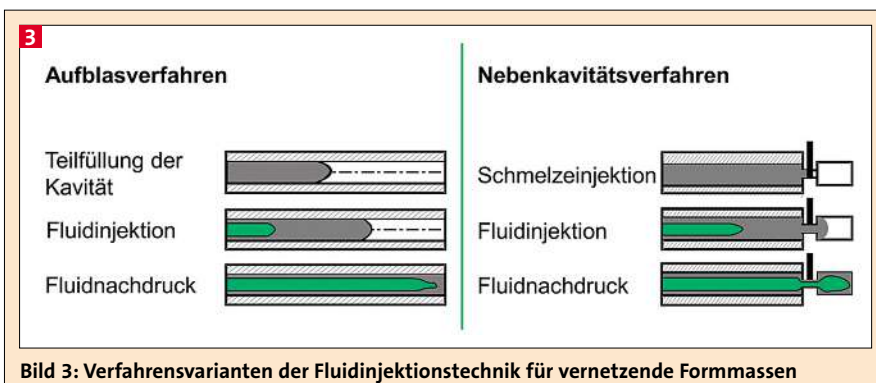


Bild 3: Verfahrensvarianten der Fluidinjektionstechnik für vernetzende Formmassen

eigentlichen Restwanddickenausbildung mit der Schmelze in Kontakt. Bauteildefekte wie bei der GIT können so vermieden werden. Umfangreiche verfahrenstechnische Untersuchungen zur Herstellung von Medienleitungen aus Flüssigsilikonkautschuk (LSR) vom Typ LSR 2640 der Firma Momentive Performance Materials GmbH, Leverkusen, mithilfe der gasgetriebenen PIT (G-PIT) haben gezeigt, dass sowohl die gewählte Prozessvariante als auch die Prozessparameter großen Einfluss auf die Restwanddicke haben [11]. Insbesondere im Nebenkavitätsverfahren lassen sich hochwertige Medienleitungen mit homogenen Restwanddicken vollautomatisch herstellen. Eine optionale Faserverstärkung kann ohne zusätzlichen Prozessschritt in die Medienleitungen integriert werden, sodass die Berstdruckfestigkeit von 3 bar (unverstärkt) auf über 88 bar (verstärkt mit Glasfasern; Nebenkavitätsverfahren) gesteigert werden kann. Nachteilig an der G-PIT im Nebenkavitätsverfahren ist jedoch zum einen der hohe Materialabfall, da Gummi mangels Recyclierbarkeit aufwendig entsorgt werden muss. Zum anderen erfolgt die Vernetzung bei der gasgetriebenen PIT lediglich vom Werkzeug in die Restwand, sodass Heizzeiten von ca. 100 s notwendig sind, um eine ausreichende Vernetzung zu gewährleisten.

Neben der GIT und der G-PIT existiert noch die wassergetriebene FIT (WIT/W-PIT). Wasser besitzt im Vergleich zu gasförmigen Prozessfluiden einen hohen Wärmeübergangskoeffizienten, der in der Thermoplastverarbeitung zur Reduzierung der notwendigen Kühlzeit genutzt wird. In der Elastomerverarbeitung kann die Nutzung von Wasser bei Raumtemperatur jedoch dazu führen, dass die Vulkanisation verlängert oder gar vollständig verhindert wird. Um dennoch das Potenzial des Prozessfluids Wasser zur Reduzierung der Heizzeit in der Elastomerverarbeitung nutzen zu können, ist am IKV eine Anlagentechnik zur heißwassergetriebenen Projektilinjektionstechnik (HW-PIT) entwickelt und untersucht worden.

### Anlagentechnik, Materialien und Analysemethoden

Standard-WIT-Anlagen bestehen aus einer Pumpeneinheit, die über einen Druckschlauch und ein Sicherheitsventil mit einem Injektor verbunden ist, von dem aus das Projektil gestartet wird.

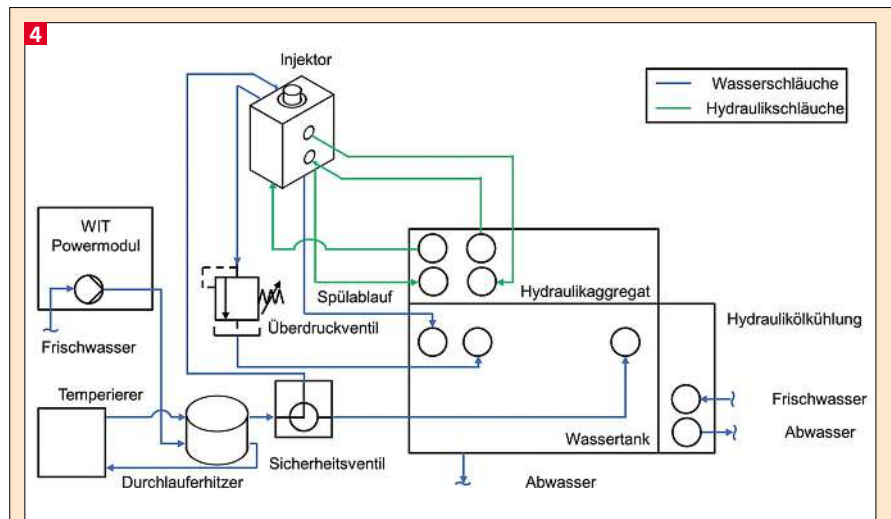


Bild 4: Schematische Darstellung der Anlagentechnik zur HW-PIT.

Nach dem Öffnen der Injektornadel wird kaltes Wasser druck- oder volumengeregelt in die Kavität eingespritzt.

Zum Betrieb eines HW-PIT-Prozesses für Elastomere sind jedoch Änderungen des Anlagenaufbaus notwendig:

- Temperierung des Prozesswassers
- Integration einer Spülfunktion zur Gewährleistung hoher Fluidtemperaturen vor Fluidstart
- Extraktion des Prozesswassers aus der Kavität, um ein Bersten der Medienleitungen und schlagartiges Verdampfen des Prozesswassers während der Entformung zu verhindern
- Modifikation des WIT-Injektors

Zur Temperierung des Prozessfluid wird ein Durchlauferhitzer zwischen Pumpeneinheit und Sicherheitsventil geschaltet (Bild 5). Der Aufbau des Durchlauferhitzers ist eine Rohr-in-Rohr-Konstruktion.

Ein innenliegendes Rohr, welches das Prozessfluid führt, wird von einem Temperiermedium umflossen. Als Temperiermedium wird Wasser verwendet, welches mit einem Temperiergerät vom Typ teco cs 160 der Firma gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Meinerzhagen, temperiert wird. Als Pumpeneinheit wird eine Standard-WIT-Anlage des Typs WIT-Powermodule 15/210-2 der Firma PME fluidtec GmbH, Ettenheim, eingesetzt.

Da zwischen Injektor und Durchlauferhitzer Wasser vorliegt, welches nicht aktiv temperiert wird, wird eine Spülfunktion implementiert. Der Injektor besitzt einen konventionellen Fluideingang und einen zusätzlichen Fluidrücklauf, der mit einem Abwassertank verbunden ist. Vor Fluidstart kann mittels der Pumpeneinheit somit gewährleistet werden,

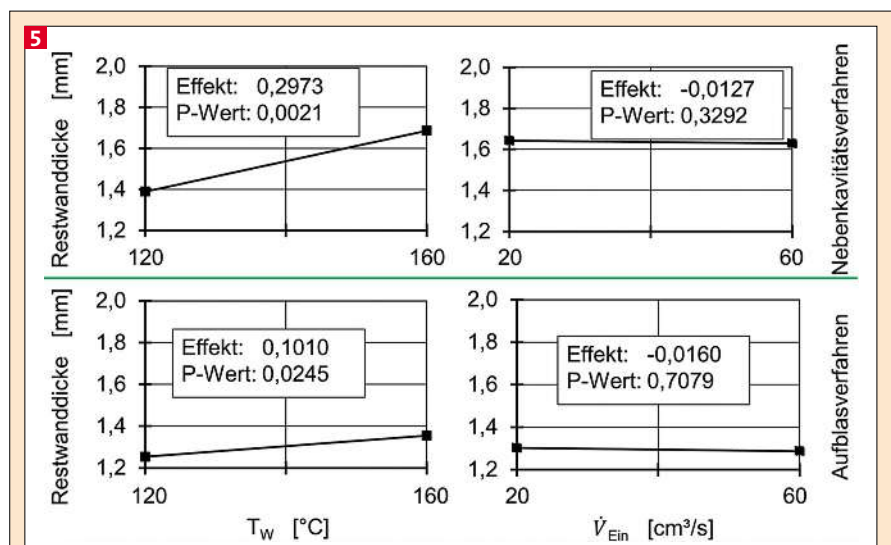


Bild 5: Einflüsse der Prozessparameter auf die Restwanddicke bei der HW-PIT.

1 Versuchsplan – Variation der SG-Prozessparameter		
Versuchsparameter	- 1	+ 1
Einspritzvolumenstrom $\dot{V}_{\text{Ein}}$ [cm <sup>3</sup> /s]	20	60
Verfahrensvariante [-]	Aufblasverfahren	Nebenkavitätsverfahren
Einspritzvolumen $V_{\text{Ein}}$ [cm <sup>3</sup> ]	100 / 225 (entsprechend der Verfahrensvariante)	
Werkzeugtemperatur $T_w$ [°C]	120	160
Heizzeit $t_H$ [s]	120	
Verzögerungszeit $t_v$ [s]	30	
Fluidtemperatur $T_{\text{H}_2\text{O}}$ [°C]	95	
Fluidvolumenstrom $\dot{V}_f$ [cm <sup>3</sup> /s]	150	
Matrixmaterial [-]	LSR 2640	

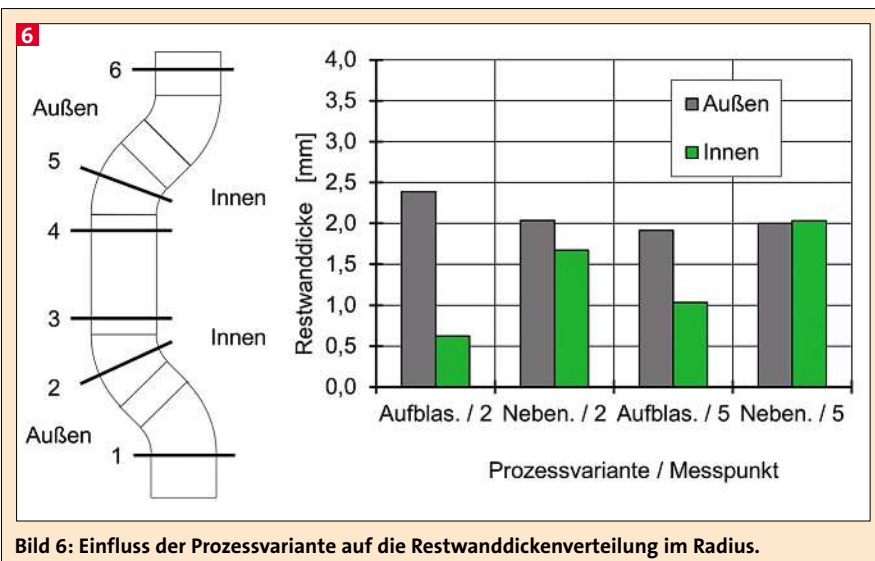


Bild 6: Einfluss der Prozessvariante auf die Restwanddickenverteilung im Radius.

dass der Injektor mit temperiertem, heißem Wasser gespült wird und somit heißes Wasser vor Fluidstart anliegt. Um die anfallende Abwassermenge möglichst gering zu halten, wird im Rücklauf ein Überdruckventil eingesetzt (Bild 5). Das Überdruckventil gewährleistet, dass die Pumpeneinheit den notwendigen Überdruck zur Vermeidung eines unkontrollierten Verdampfens ohne Volumenstrom halten kann und die Spülfunktion erst kurz vor Fluidstart durch Anheben des Vorlaufdrucks der Pumpeneinheit aktiviert wird. Über eine zusätzliche Entleerungsfunktion kann das Prozesswasser nach dem Ausformen der Medienleitung kontrolliert in den Abwassertank zurückgeführt werden.

Ein Standard-WIT-Injektor arbeitet mit einer hydraulisch betätigten Injektornadel, mit der das Fluid für die Kavität freigegeben wird. Bei Verwendung von überhitztem Wasser muss jedoch aufgrund der zuvor genannten Gründe eine Spülfunktion implementiert werden. Hierzu wird der Serieninjektor 137 der Firma PME fluidtec GmbH, Ettenheim, im

ersten Schritt mit einem Rücklauf erweitert, sodass heißes Wasser vor Fluidstart im Injektor vorliegt. Die übliche Injektornadel wird durch eine Hohl-nadel ersetzt. In der Hohl-nadel wird eine zweite Injektornadel integriert, mit der das Fluid in den Tank extrahiert werden kann.

Mittels einer Euromap 62 Schnittstelle wird die WIT-Anlage mit der Elastomerspritzgießmaschine gekoppelt, sodass in Abhängigkeit des Spritzgießzykluses Fluid prozesssicher injiziert und extrahiert werden kann. Als Spritzgießmaschine wird eine Horizontalspritzgießmaschine D 969.300 Z Sealmaster der Firma Klöckner DESMA Elastomertechnik GmbH, Fridingen, verwendet. Die vollhydraulische Elastomerspritzgießmaschine hat eine Schließkraft von 3000 kN und ist speziell für die Fertigung von Präzisionsartikeln aus Gummi und Silicon konzipiert. Für die Dosierung des LSR wird ein Dosiersystem des Typs TOP 3000 der Firma ELMET Elastomere Produktions- und Dienstleistungs GmbH, Oftring, Österreich, eingesetzt.

Als Elastomermaterial wird Flüssigsiliconkautschuk (LSR) vom Typ Silopren LSR 2640 der Firma Momentive Performance Materials GmbH, Leverkusen, verwendet. LSR besitzt eine geringe Verarbeitungsverviskosität bei geringer Wärmeleitfähigkeit und hoher Vernetzungsgeschwindigkeit und ist damit sehr gut für die PIT geeignet. Die Projektile werden aus Polyamid 6 (PA 6) vom Typ Durethan B 30 S der Firma Lanxess Deutschland GmbH, Leverkusen, spritzgegossen. PA 6 weist eine ausreichende Wärmeformstabilität auf, sodass ein Anschmelzen oder Verformen während des PIT-Prozesses ausgeschlossen werden kann.

Hauptqualitätsmerkmal von Medienleitungen ist die Restwanddicke, da durch die Restwanddicke die Fläche des Strömungsquerschnitts festgelegt wird und somit die mechanischen Eigenschaften einer Medienleitung maßgeblich von der Restwanddicke abhängen [12]. Zur Bestimmung der Restwanddicke wird das zerstörungsfrei arbeitende magnetisch-induktive Dickenmessgerät „Magna-Mike 8000“ der Firma Panametrics GmbH, Hofheim, eingesetzt. Die Restwanddicke wird jeweils über den Umfang viermal am jeweiligen Messpunkt gemessen, sodass sowohl Aussagen über die Homogenität in Umfangs- und Bauteilrichtung als auch über die Exzentrizität getroffen werden können.

#### Verfahrenstechnische Untersuchungen zur HW-PIT

Bereits mit der G-PIT können faserverstärkte, elastomere Medienleitung reproduzierbar im einstufigen Spritzgießprozess hergestellt werden. Mit der Weiterentwicklung zur HW-PIT besteht jedoch die Möglichkeit, den Prozess hinsichtlich einer ressourceneffizienten Fertigung weiter zu verbessern.

Hierzu werden zu Beginn der verfahrenstechnischen Untersuchungen die grundlegenden Wirkmechanismen der PIT analysiert und bewertet, um anschließend die HW-PIT-spezifischen Vorteile zu untersuchen. Entgegen der bisherigen Untersuchungen zur G-PIT wird die HW-PIT nicht druckgeregelt, sondern volumenstromgeregelt betrieben, sodass eine konstante Projektilgeschwindigkeit erzielt wird. Der Fluiddruck resultiert aus dem Rohr-widerstand und dem Fluidvolumenstrom. Zur Ermittlung der Einflüsse der Prozessparameter werden der Einspritzvolumenstrom, die Verfahrensvariante und die Werkzeugtemperatur vari-

iert. Das Einspritzvolumen wird jeweils an die Verfahrensvariante angepasst, wohingegen die Heizzeit, der Fluidvolumenstrom und die Verzögerungszeit konstant gehalten werden. Als Material wird LSR 2640 verwendet, mit dem in jedem Versuchspunkt fünf unverstärkte Medienleitungen hergestellt werden. Der Versuchsplan ist in Tabelle 1 dargestellt.

In Bild 6 sind die Einflüsse der Prozessparameter auf die gemittelten Restwanddicken dargestellt. Die Werkzeugtemperatur  $T_w$  zeigt für beide Verfahrensvarianten einen positiven Effekt, wobei beim Aufblasverfahren kein höchst signifikanter Effekt (P-Wert < 0,01) vorliegt. Bei dem Einspritzvolumenstrom kann kein signifikanter Effekt (P-Wert > 0,05) bestimmt werden. Im Vergleich beider Verfahrensvarianten zeigen sich somit vergleichbare Einflüsse.

Wie bereits die verfahrenstechnischen Untersuchungen zur G-PIT zeigten, hat eine höhere Werkzeugtemperatur aufgrund der schneller ablaufenden Vernetzungsreaktion eine höhere Restwanddicke zur Folge [11]. Dass der Effekt beim Aufblasverfahren der HW-PIT geringer ausfällt, liegt an der geringeren Verweildauer der Schmelze unter Temperatureinfluss. Der Einspritzvolumenstrom zeigt analog zu den vorherigen Untersuchungen zur G-PIT ebenfalls keinen signifikanten Einfluss, sodass mit diesen Versuchen bestätigt werden kann, dass die Start-Masse-Temperatur während der Einspritzphase bei gegebener Angusskonfiguration nicht signifikant gesteigert wird. Die Ergebnisse bestätigen somit zum einen die Resultate aus den vorherigen Untersuchungen [11]. Zum anderen zeigen die Ergebnisse, dass der PIT-Prozess trotz unterschiedlicher Anlagen- und Werkzeugtechnik reproduzierbar ist und Einflüsse prozesssicher vorhergesagt werden können.

In Bild 7 ist exemplarisch die Exzentrizität in Abhängigkeit der Verfahrensvariante bei der HW-PIT für eine lange Verzögerungszeit und einen hohen Fluidvolumenstrom dargestellt. Das Aufblasverfahren zeigt einen deutlichen Unterschied in den Restwanddicken zwischen innen und außen. Das Nebenkavitätsverfahren hingegen zeigt eine vergleichsweise sehr homogene Restwanddickenverteilung über dem Umfang im Radius.

Die Untersuchungen bestätigen ebenfalls die vorherigen Untersuchungen zur G-PIT [11]. Beim Aufblasverfahren

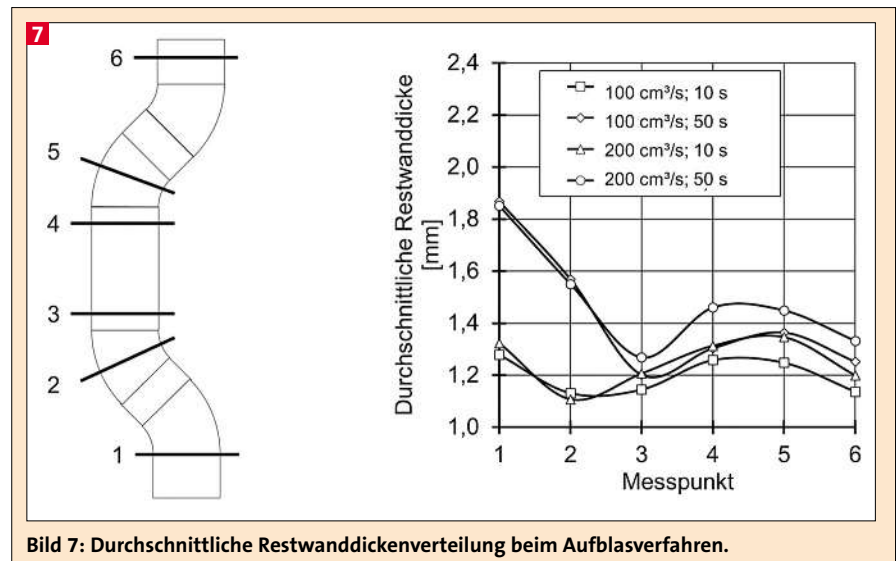


Bild 7: Durchschnittliche Restwanddickenverteilung beim Aufblasverfahren.

ren wählt das Projektil den Weg des geringsten Widerstands, sodass in Radien Fehlstellen auf der Innenseite auftreten. Da beim Nebenkavitätsverfahren die Restwanddicke vor Projektilstart ausgebildet wird, kann eine homogene

Restwanddickenverteilung erzeugt werden. Die Untersuchungen geben den Anschein, dass jedoch beim Nebenkavitätsverfahren am Anfang eine leichte Exzentrizität vorliegt. Das liegt daran, dass der Injektor das Projektil bei

2 Versuchsplan – Variation der HW-PIT-Prozessparameter		
Versuchsparameter	- 1	+ 1
Verzögerungszeit $t_v$ [s]	10	50
Fluidvolumenstrom $\dot{V}_f$ [cm³/s]	100	200
Verfahrensvariante [-]	Aufblasverfahren	Nebenkavitätsverfahren
Einspritzvolumen $V_{ein}$ [cm³]	100 / 225 (entsprechend der Verfahrensvariante)	
Fluidtemperatur $T_{H_2O}$ [°C]	95	
Heizzeit $t_H$ [s]	120	
Verfahrensvariante [-]	Nebenkavitätsverfahren	
Werkzeugtemperatur $T_w$ [°C]	140	
Einspritzvolumenstrom $\dot{V}_{ein}$ [cm³/s]	40	
Matrixmaterial [-]	LSR 2640	

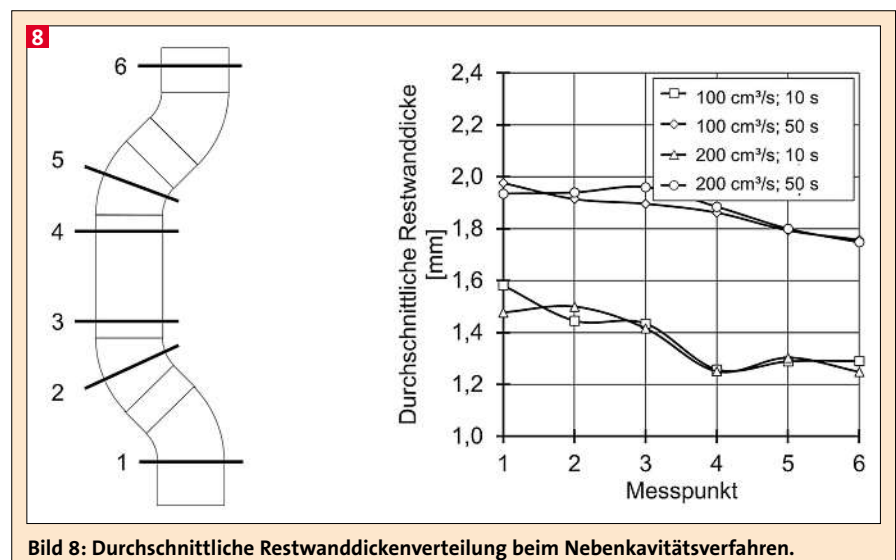


Bild 8: Durchschnittliche Restwanddickenverteilung beim Nebenkavitätsverfahren.

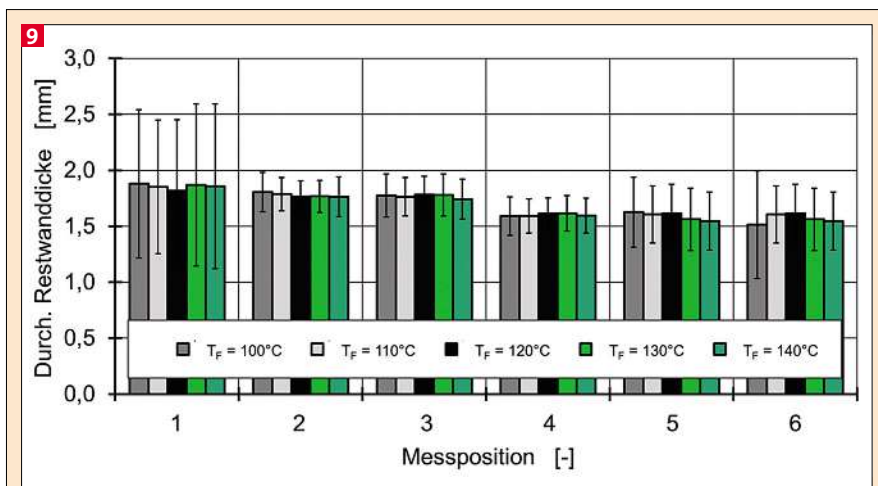


Bild 9: Einfluss der Fluidtemperatur TF auf die Restwanddickenverteilung in Fließrichtung.

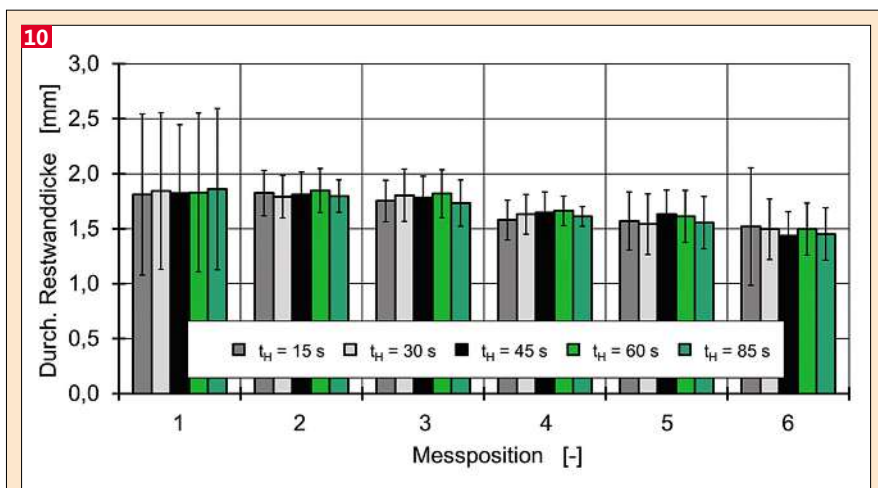


Bild 10: Einfluss der Heizzeit tH auf die Restwanddickenverteilung in Fließrichtung.

vorliegender Werkzeugkonfiguration nicht exakt mittig in der Kavität positioniert.

Mit diesen ersten verfahrenstechnischen Ergebnissen konnten die grundlegenden Wirkmechanismen der G-PIT auch für die HW-PIT bestätigt werden. Um nun den Einfluss der PIT-spezifischen Prozessparameter zu untersuchen, werden im Folgenden die Parameter Fluidvolumenstrom und Verzögerungszeit für beide Verfahrensvarianten variiert. Der Versuchsplan ist in Tabelle 2 dargestellt.

In Bild 8 ist die durchschnittliche Restwanddickenverteilung beim Aufblasverfahren dargestellt. Die Vorfüllung der Kavität liegt zwischen Messpunkt 2 und 3. Im Bereich von Messpunkt 3 ist die Umschaltmarkierung zu finden, die aus den vorherigen G-PIT-Versuchen bereits bekannt ist. Eine längere Verzögerungszeit zeigt sowohl bei niedrigem als auch bei hohem Fluidvolumenstrom eine hö-

here Restwanddicke. Beim Einfluss des Fluidvolumenstroms muss zwischen vorgefüllten und aufgeblasenem Bereich unterschieden werden: Während im vorgefüllten Bereich kein Einfluss des Fluidvolumenstroms vorherrscht, sinkt die Restwanddicke im aufgeblasenem Bereich mit steigendem Fluidvolumenstrom.

Bezüglich des Einflusses der Verzögerungszeit können die bisherigen Ergebnisse der G-PIT-Versuche mit der HW-PIT bestätigt werden: Eine längere Verzögerungszeit ermöglicht bei konstanter Werkzeugtemperatur ein höheres Temperaturniveau der Schmelze, sodass die Vernetzungsreaktion bei Fluidinjektion weiter vorangeschritten ist und so eine höhere Restwanddicke aufgebaut werden kann. Beim Fluidvolumenstrom wurde im Vorfeld davon ausgegangen, dass höhere Volumenströme eher zu kleineren Restwanddicken führen [11]. Die Ergebnisse der volumengeregelten HW-PIT

zeigen jedoch einen invertierten Effekt. Zur genauen Validierung des Effekts werden in zukünftigen Untersuchungen die Projektilgeschwindigkeit als auch Interaktionen zwischen Schmelze und Projektil analysiert.

In Bild 9 ist die durchschnittliche Restwanddickenverteilung beim Nebenkavitätsverfahren dargestellt. Die Kurvenverläufe zeigen ebenfalls die aus der G-PIT bekannte, nahezu lineare Abnahme mit dem Fließweg. Mit längeren Verzögerungszeiten steigt die Restwanddicke signifikant an. Der Fluidvolumenstrom hingegen zeigt keinen Einfluss auf die Restwanddickenverteilung beim Nebenkavitätsverfahren.

Im Gegensatz zu den Versuchen im Aufblasverfahren zeigt der Fluidvolumenstrom beim Nebenkavitätsverfahren keinen Effekt auf die Restwanddicke. Das Viskositätsniveau des LSR ist aufgrund der Vernetzungsreaktion während des Projektildurchlaufs beim Nebenkavitätsverfahren deutlich höher als beim Aufblasverfahren. Somit ist die Hohlraumausbildung beim Nebenkavitätsverfahren nicht maßgeblich auf das Projektil, sondern auf die Vernetzungsreaktion zurückzuführen, was in Bild 7 bereits dokumentiert werden konnte. Folglich zeigt der Fluidvolumenstroms beim Nebenkavitätsverfahren keinen Einfluss.

Die lineare Abnahme der Restwanddicke mit dem Fließweg war bereits aus den G-PIT-Versuchen bekannt, wobei drei mögliche Erklärungsansätze aufgeführt wurden:

Die Abnahme der Restwanddicke wurde mit

- einer Beschleunigung des Projektils,
- steigender Materialansammlungen am Projektil und
- längeren Einspritzzeiten erklärt.

Da die Projektilgeschwindigkeit bei der HW-PIT aufgrund der Volumenregelung konstant ist, kann die Projektilgeschwindigkeit als Ursache für die Abnahme der Restwanddicke ausgeschlossen werden. Steigende Materialansammlungen am Projektil sind aus der Thermoplastverarbeitung bekannt, konnten bisher jedoch mangels Sichtwerkzeug nicht quantifiziert werden. Aufgrund des höheren Einspritzvolumens und der Füllung in Fließwegrichtung ist die Einspritzzeit höher, sodass ähnliche Effekte wie bei der Verzögerungszeit zu erwarten sind.

Bisher wurden die verfahrenstechnischen Untersuchungen lediglich mit einer Fluidtemperatur von 95 °C durchgeführt.

Um den Einfluss der Fluidtemperatur auf die Bauteilqualität zu untersuchen, wird im Folgenden die Fluidtemperatur im Zentralpunkt in Schritten von 10 K von 100 °C auf 140 °C erhöht.

In Bild 10 ist der Einfluss der Fluidtemperatur auf die Restwanddickenverteilung dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fluidtemperatur innerhalb der Standardabweichung keinen Einfluss auf die Restwanddickenverteilung hat. Da die Formgebung bereits abgeschlossen ist, sobald das Fluid mit der Restwand in Kontakt kommt, besitzt die Fluidtemperatur keinen Einfluss auf die Restwand. Die Fluidtemperatur hat jedoch einen Einfluss auf die weitere Umsetzung der Vernetzungsreaktion, sodass die Heizzeit und damit einhergehend die Zykluszeit reduziert werden kann.

Eine Zykluszeitreduktion hat eine Produktionssteigerung zur Folge und ist somit für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens von großer Bedeutung. Um zu analysieren, wie weit die Zykluszeit reduziert werden kann, wird die Heizzeit in Zeitschritten von 15 s ausgehend von 100 s reduziert. Als Prozess wird der Zentralpunkt im Nebenkavitätsverfahren mit einer Fluidtemperatur von 140 °C gewählt.

Erst bei Heizzeiten von unter 15 s können die Medienleitungen mangels ausreichender Vulkanisation nicht mehr ohne Verkleben der Innenoberflächen entformt werden. Zusätzlich werden jeweils die Restwanddicken bei den unterschiedlichen Heizzeiten bestimmt, um einen Einfluss zu kurzer Heizzeiten auf die Restwanddicke ausschließen zu können (Bild 11). Wie zu erwarten war, hat eine verkürzte Heizzeit jedoch keinen Einfluss auf die Restwanddicke, sodass die Heizzeit von 100 s auf 15 s reduziert und die Produktivität signifikant gesteigert werden kann. Mittels höherer Werkzeug- und Fluidtemperaturen ließe sich die Heizzeit weiter reduzieren.

### Fazit

Die verfahrenstechnischen Untersuchungen zeigen, dass die Projekttilinjektionstechnik erfolgreich zur reproduzierbaren Fertigung von endlosfaserverstärkten, elastomeren Medienleitungen eingesetzt werden kann. Unabhängig vom gewählten Prozessfluid können mithilfe der Prozessparameter die Bauteileigenschaften wie die Restwanddicke der Medienleitungen gezielt beeinflusst werden. Insbesondere im Nebenkavitätsverfahren können somit homo-

gene Restwanddickenverteilungen erzeugt werden. Zusätzlich können über eine optionale Faserverstärkung die mechanischen Eigenschaften wie die Berstdruckfestigkeit signifikant verbessert werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts konnte erstmals ein PIT-Prozess mit Heißwasser implementiert und erfolgreich untersucht werden. Die verfahrenstechnischen Untersuchungen zur HW-PIT zeigen, dass insbesondere die Heizzeit signifikant gesenkt werden kann. Mit einer Heizzeitreduzierung kann sowohl die Ausstoßmenge gesteigert als auch die notwendige Prozessenergie gesenkt werden, sodass mit der HW-PIT bereits heute qualitativ hochwertige Medienleitung energie- und zeiteffizient hergestellt werden können. Falls es darüber hinaus mittels einer geeigneten Verfahrenskombination zwischen Aufblas- und Nebenkavitätsverfahren gelingt, die Materialeffizienz nachhaltig zu steigern, ist die Projekttilinjektionstechnik mehr als nur ein alternatives Fertigungsverfahren in der Elastomerverarbeitung.

### Dank

Das IGF-Forschungsprojekt 17443 N der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Allen Institutionen gilt unser Dank.

Wir bedanken uns außerdem bei folgenden Unternehmen für die Unterstützung mit Anlagentechnik und Materialien: Wittmann Battenfeld GmbH & Co. KG, Meinerzhagen; Elmet Elastomere Produktions- und DienstleistungsgmbH, Oftring, Österreich; Klöckner Desma Elastomertechnik GmbH, Fridingen; Maplan GmbH, Ternitz, Österreich; Momentive Performance Materials, Leverkusen; Lanxess Deutschland GmbH, Leverkusen; PME fluidtec GmbH, Ettenheim; Siltex, Flecht- und Isoliertechnologie Holzmüller GmbH & Co. KG, Julbach.

### Literatur

- [1] F. Röthemeyer, F. Sommer, Kautschuktechnologie. München: Carl Hanser Verlag, 2013.  
[2] K. Küddelsmann, Vom Krümmer zum verzweigten Schlauchsystem. Technische Problemlösungen mit Elastomeren, Düsseldorf:

VDI-Verlag, 1992.

- [3] A. Köhler, D. Stuhmann, Entwicklung und Produktion von medienführenden Leitungen am Beispiel von Kühlwasserleitungen, Umdruck zur Fachtagung: Fluidinjektionstechnik (FIT) – Trends und aktuelle Entwicklungen, Aachen, 2011.  
[4] W. Hoffmanns, Energie sparendes Formen, Kautschuk Gummi Kunststoffe 63 (2010) 6, S. 247.  
[5] F. Johannaber, W. Michaeli, Handbuch Spritzgießen, München: Carl Hanser Verlag, 2004.  
[6] G. W. Ehrenstein, Mehrkomponentenspritzgießen – Schlüsseltechnologie der Kunststofffertigung, Ingenieur-Werkstoffe 9 (2000) 4, S. 3.  
[7] T. Stier, Einführung in die Fluidinjektionstechnik – Marktpotenziale und Anwendungen, Umdruck zur Fachtagung: FIT – Forschung, Innovationen und Trends in der Fluidinjektionstechnik, Aachen, 2014.  
[8] P. Eyerer, P. Elsner, M. Knoblauch-Xander, A. v. Riewel, Gasinjektionstechnik, München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2003.  
[9] W. Michaeli, O. Grönlund, C. Lettowsky, A. Neuß, Möglichkeiten und Grenzen der Projekttilinjektionstechnik. Umdruck zur Fachtagung: Gas- und Wasserinjektionstechnik - Potentiale nutzen, Herausforderungen meistern, Aachen, 2007.  
[10] H. Wehr, Fluidinjektionstechnik im Elastomerspritzgießprozess, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Dissertation, 2002 - ISBN: 9783896539649.  
[11] C. Hopmann, M. Piazzi, M. Theunissen, U. Recht, Neue Werkstoffe und Fluide für die Gas- und Wasserinjektionstechnik, In: C. Hopmann (Hrsg.): Integrative Kunststofftechnik 2014, Aachen: Shaker Verlag. GmbH, 2014 – ISBN: 978-3-8440-2558-3  
[12] T. Jüntgen, Injektortechnik und Prozessuntersuchungen bei der Gas- und Wasserinjektionstechnik, RWTH Aachen, Dissertation, 2004 – ISBN: 3-86130-488-0.



**Blasformen · Silikonkautschuk · Vernetzungsgrad · Kautschukverarbeitung · Prozessfähigkeit**

Das Blasformverfahren bietet die Möglichkeit der reproduzierbaren, vollautomatischen und damit kostengünstigen Massenfertigung von komplexen Hohlkörpern. Aufgrund der schlechten mechanischen Eigenschaften des unvernetzten Kautschuks wird es bisher nicht zur Herstellung elastomerer Hohlkörper genutzt. Es wird gezeigt, dass mit definiert vorvernetztem Material das Blasformen von Festsilikonkautschuken möglich ist. Zunächst wird der Aufbau einer Laborblasformanlage und deren Besonderheiten aufgezeigt. Anschließend erfolgt die Diskussion einer detaillierten Analyse des Blasformenprozesses, wobei Bauteile mit einem Oberflächenverstreckverhältnis von 3,6:1 hergestellt werden konnten.

### **Blow molding of silicon rubbers – Innovative process technology for the production of elastomeric hollow parts**

**blow moulding · silicon rubber · cross-linking degree · rubber processing · process capability**

The blow molding process offers the possibility of reproducible, fully automatic and therefore cost-efficient mass production of complex hollow bodies. Due to the poor mechanical properties of uncured rubber, it has not yet been used for the manufacturing of elastomeric hollow parts. It is shown that with defined pre-cross-linked material the blow molding of solid silicone rubbers is possible. First, the setup of a laboratory scale blow moulding machine and their characteristics is presented. Then a detailed analysis of the blow moulding process, whereby parts with a surface stretch ratio of 3.6:1 were made, is discussed.

Abbildungen und Tabellen:  
Mit freundlicher Unterstützung der Autoren.

# **Blasformen von Silikonkautschuken – Innovative Prozesstechnik zur Herstellung elastomerer Hohlkörper**

Silikonkautschuke sind anorganische Polymere, deren Hauptkette aus alternierenden Silizium- und Sauerstoffatomen besteht. Die organischen Endgruppen können gezielt variiert und damit die Produkteigenschaften beeinflusst werden. Eine Klassifizierung der Silikonkautschuke erfolgt je nach Art der Substituenten nach ISO 1629 [1]. Silikonkautschuk ist aufgrund seiner chemischen Struktur und den notwendigen Vernetzungschemikalien ein vergleichsweise teures Material. Dennoch führen die einzigartigen Eigenschaften und die lange Lebensdauer zu einem stetig steigenden Einsatz von Silikonkautschuken in vielen Anwendungsbereichen, in denen bisher klassische Kautschuke oder andere Materialien eingesetzt werden [1, 2]. Silikone können in einem großen Temperaturbereich (-100 °C bis +200 °C) eingesetzt werden. Die mechanischen und andere physikalische Eigenschaften zeigen in diesem Temperaturbereich kaum Veränderungen und sind somit insbesondere bei höheren Temperaturen zumeist wesentlich besser als bei vergleichbaren konventionellen Elastomeren. Zudem sind Silikonkautschuke äußerst ozon- und witterungsbeständig, physiologisch und gegen Bakterien und Pilze inert, flammwidrig, elektrisch isolierend und beständig gegenüber Pflanzen- und Tierfetten, paraffinischen Mineralölen und Alkoholen [3, 4]. Es besteht ein vielfältiger Bedarf an Hohlkörpern aus Silikonkautschuk, so werden diese bspw. als Medienleitungen im Automobil eingesetzt [5], zu Behältern und Leitungen in der Medizintechnik [2] oder zu Babyflaschen [6] verarbeitet.

Bislang werden elastomere Hohlkörper in zeit- und kostenaufwändigen Verarbeitungsverfahren hergestellt. Im Spritzgießen werden teure und technisch komplexe Kerntechniken eingesetzt [3]. Neueste Entwicklungen in der Fluid- bzw. Projektlinienteknik ermöglichen die Herstellung von schlauchförmigen Hohlkörpern aus Elastomeren [7]. Mehrschichtige elastomere Form-

schläuche werden in verschiedenen Arbeitsschritten mit hohem manuellem Aufwand aufgebaut. Allen bestehenden Verfahren ist gemein, dass die erzeugten Bauteile in ihrer Geometrie limitiert sind, eine Reproduzierbarkeit der Fertigung aufgrund des hohen manuellen Aufwands oftmals nicht sichergestellt werden kann und die Produktion ausschussbehaftet ist [3, 8]. Eine reproduzierbare, vollautomatische und damit kostengünstige Massenfertigung elastomerer Hohlkörper mit kurzer Zykluszeit ist bis heute nicht möglich. Das Blasformverfahren würde diese Anforderungen erfüllen. Deshalb gab es bereits in den 1970er Jahren Ansätze, Silikonkautschuke im Blasformen zu verarbeiten [9, 10]. Aufgrund der schlechten mechanischen Eigenschaften des unvernetzten Silikonkautschuks und einer damit verbundenen unzureichenden Dehnviskosität war das Material nicht prozessfähig und die Prozesszeiten durch die langsame Vernetzung und einseitige Erwärmung zu lang. Am IKV wurde dieser Ansatz mit weiterentwickelten Materialsystemen und angepasster Prozessführung neu aufgegriffen [11, 12].

### **Authors**

**Prof. Dr.-Ing. Ch. Hopmann, S. Schäfer, M.Eng., Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen**

Corresponding author:  
Sarah Schäfer, M.Eng.  
Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen  
Seffenter Weg 201  
D-52062 Aachen  
Tel.: +49 (0)241/8028348  
E-Mail: schaefer\_s@ikv.rwth-aachen.de

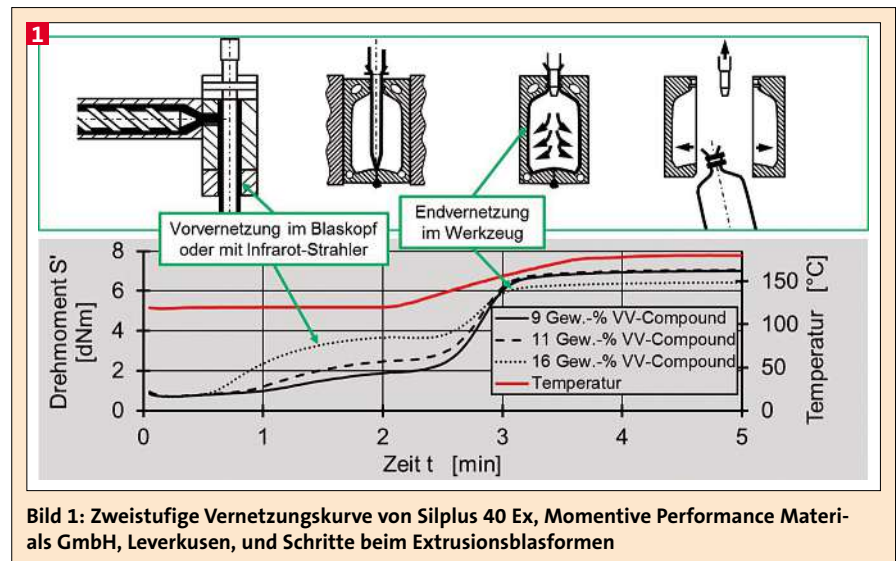
### Zielsetzung

Das Ziel ist es, den Blasformprozess für die Verarbeitung von Festsilikonkautschuken anzupassen, so dass erstmals eine automatisierte Herstellung von komplexen Hohlkörpern aus Festsilikonkautschuken in einem Schritt ermöglicht wird. Auf den Einsatz aufwendiger Kerntechniken, wie sie im Spritzgießprozess häufig eingesetzt werden, kann verzichtet werden. Gleichzeitig kann auf zeit- und kostenaufwendige Montageschritte zur Herstellung der komplexen Formteile verzichtet und somit die Wirtschaftlichkeit deutlich gesteigert werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen bisheriger Untersuchungen, der Ermittlung von mechanischen und rheologischen Kennwerten von verschiedenen Materialsystemen, werden geeignete Materialien und Vernetzungssysteme für das Blasformen von Festsilikonkautschuken ausgewählt. Mit diesen Materialien wird eine detaillierte Prozessanalyse auf einer Laborsilikonblasformanlage durchgeführt. Die Anlage wurde aufbauend auf den Ergebnissen der Umformuntersuchungen im Thermoformen aufgebaut. Ziel der Prozessanalyse ist es, eine optimale Prozessführung für die Verarbeitung von Festsilikonkautschuken zu ermitteln, die eine wirtschaftliche Fertigung von Hohlkörpern bei gleichzeitig hoher Bauteilqualität ermöglichen. Hierzu muss zunächst die Vorvernetzung sichergestellt werden, anschließend wird der Umformprozess untersucht.

### Zweistufige Vernetzung von Silikonkautschuken

Silikonkautschuke unterscheiden sich in ihrer molekularen Struktur von Polyolefinen, die typischerweise im Blasformen verarbeitet werden. Festsilikonkautschuke besitzen eine lineare Molekülstruktur mit vergleichsweise kurzen Molekülketten und sind mit verstärkenden Füllstoffen hoch gefüllt [1]. Die Molekülketten von Polyolefine sind dagegen wesentlich länger, daher können diese untereinander verschlaufen, wenn das Material beim Blasformen gedehnt wird. Dieser Effekt ist für das Erreichen einer homogenen Wanddickenverteilung des Blasformteils vorteilhaft [13]. Diese hohe Dehnviskosität ist eine wichtige Voraussetzung für die Verarbeitung von Thermoplasten im Extrusionsblasformen. Eine zu niedrige Dehnviskosität führt zu unkontrolliertem Auslängen des Vorformlings, während eine zu hohe Dehnviskosität die korrekte Ausformung des



Bauteils behindert und das Einreißen dünner Bereiche unterstützt.

Um die Verarbeitung von Silikonkautschuken trotz ihrer linearen Molekülstruktur im Extrusionsblasformen zu ermöglichen, wurde der Einsatz eines zweistufigen Vernetzungssystems untersucht [11]. Durch dieses Vernetzungssystem kann eine gezielte Vorvernetzung in das Material eingebracht werden. Die Vorvernetzung erhöht die Grünfestigkeit des unvernetzten Kautschuks durch die Ausbildung eines weitmaschigen Molekülnetzwerks. Dies ermöglicht die Umformung des Silikonkautschuks mittels Druckluft. In Bild 1 sind die Vernetzungskurven des zweistufigen Vernetzungssystems und die zugehörigen Prozessschritte des Extrusionsblasformens dargestellt. Das zweistufige Vernetzungssystem wird z. B. über zwei verschiedene Peroxide realisiert, die jeweils in einen Silikonkautschuk eingemischt sind (Vorvernetzungs- und Ausvernetzungscompound). Diese zwei Silikone werden dann zu einem Compound gemischt. Der Grad der Vorvernetzung kann über das Verhältnis dieser beiden Silikone gesteuert werden. Die zwei Peroxide haben verschiedene Reaktionstemperaturen, die Vorvernetzung wird von einem Di(2,4-dichlorobenzoyl)peroxid bei etwa 120°C erzeugt. Das zweite Peroxid, ein Dicumylperoxid, sorgt für die Endvernetzung, für die Verarbeitung wird eine Vernetzungstemperatur von 180°C empfohlen, da hier die Vernetzung sehr schnell abläuft, ohne dass der Kautschuk thermisch geschädigt wird. Tatsächlich setzt die Vernetzung aber weitaus früher ein.

Die drei Kurven in Bild 1 zeigen den Einfluss der Compoundzusammensetzung

auf die Vorvernetzung. Je höher der Gehalt an Vorvernetzungscompound in der Mischung, desto ausgeprägter ist die Vorvernetzung. Die Vorvernetzung kann sowohl bei Verwendung eines peroxidischen Vernetzungssystems als auch bei einem platinkatalysierten Vernetzungssystem erzeugt werden [11].

### Grundlegende Untersuchungen zur Verarbeitung von Silikonkautschuken

Für die Entwicklung der Prozesstechnik für das Blasformen von Festsilikonkautschuken wurden in vorhergehenden Arbeiten verschiedene Materialsysteme untersucht und eine vereinfachte Umformuntersuchung im Thermoformen durchgeführt. Die Entwicklung der Laborsilikonblasformanlage und die Materialauswahl für die Prozessanalyse basieren auf den Ergebnissen dieser Untersuchungen. Aus diesem Grund werden die wichtigsten Ergebnisse im Folgenden aufgeführt.

Für eine erfolgreiche Verarbeitung im Blasformen ist eine ausreichende Dehnviskosität wichtig, die wiederum nicht zu hoch sein darf, damit die Ausformung nicht behindert wird. Um zu untersuchen, welcher Grad an Vorvernetzung des Silikonkautschuks für eine Verarbeitung im Extrusionsblasform nötig ist, wurden zunächst Zugprüfungen an unterschiedlich stark vorvernetzten Proben durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass das Materialverhalten maßgeblich durch die Vorvernetzung beeinflusst wird. Die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung steigen mit zunehmendem Gehalt an Vorvernetzungscompound, ab 8 Gew.-% wird das Materialverhalten zunehmend elastisch. Hierbei zeigt sich,

dass bereits eine geringe Vorvernetzung für die nötige Dehnbarkeit des Silikonkautschuks sorgt und der Bereich unterhalb 10 Gew.-% an Vorvernetzungscompound vielversprechend für das Blasformen ist [11].

Neben der Umformbarkeit spielt auch die Verschweißbarkeit des Silikonkautschuks eine entscheidende Rolle für die Verarbeitung im Extrusionsblasformen. Die Enden des extrudierten Vorformlings müssen während des Umformprozesses miteinander verschweißen. Eine gute Schweißbarkeit ist entscheidend für die Qualität der hergestellten Bauteile. Um die Schweißbarkeit zu untersuchen, wurden zwei vorvernetzte Platten in einer Heißpresse verpresst und ausvulkanisiert. Anschließend wurden Probekörper entnommen und daran Zugprüfungen durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass die Festigkeit der Quetschnaht von der Vorvernetzung abhängt, wobei bis zu ei-

nem Anteil an Vorvernetzungscompound von 8 Gew.-% die Quetschnaht dieselbe Festigkeit wie das Grundmaterial aufweist [11].

Die Bedingungen des Umformprozess im Thermoformen sind nahezu die gleichen wie im Blasformen, nur der Extrusionsschritt ist im Thermoformen nicht erforderlich, dadurch wird die Verarbeitung vereinfacht. Für die Untersuchungen wird eine beheizte Form verwendet, die es erlaubt, Platten mit definierter Wanddicke mittels Druckluft in ein schalenförmiges Bauteil umzuformen. Der Umformgrad kann variiert werden, um die Prozessgrenzen ermitteln zu können. Im Thermoformen konnten Bauteile mit einem maximalen Flächenverstreckgrad von 3,1:1 hergestellt werden. Es eignen sich sowohl Silikonkautschuke mit peroxidischen als auch platinkatalysierte Vernetzungssystemen und mit Härten von 40-80 Shore A für die Verarbeitung

im Thermoformen. Bis zu einem Anteil an Vorvernetzungscompound von 8 Gew.-% weisen die Bauteile eine Rückstellung unter 5% auf, was in etwa der Schwindung von HDPE im Blasformen entspricht [11, 12].

### Prozessuntersuchungen im Extrusionsblasformen

Für die Untersuchungen im Extrusionsblasformen war es nötig, die in Bild 2 dargestellte Demonstratoranlage für das Blasformen von Silikonkautschuk aufzubauen. Im Gegensatz zum konventionellen Blasformen mit Thermoplasten müssen bei der Verarbeitung von Silikonkautschuken der Extruder gekühlt und das Werkzeug beheizt sein. Des Weiteren muss es eine Möglichkeit zur Erzeugung der Vorvernetzung geben. Die Demonstratoranlage erfüllt diese Voraussetzungen und ermöglicht es, verschiedene Silikonkautschuke im Blasformprozess zu untersuchen. Ein Kautschukextruder (d = 19 mm) der Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg, fördert das Material, das in einem beheizbaren Blaskopf der Brabender GmbH & Co. KG, bestehend aus Umlenkung und Rohrdüse, zu einem schlauchförmigen Vorformling ausgeformt wird. Über einen Infrarotstrahler der Krelus AG, Oberentfelden, wird das Material vorvernetzt. Das Blasformwerkzeug übernimmt den vorvernetzten Vorformling und sorgt für die endgültige Vernetzung nach der Umformung. Bewegt wird das Werkzeug über eine Linearverfahreinheit der GIA mBH, Köln. Für die Blasformversuche wurde ein modular aufgebautes Werkzeug entwickelt. Dabei sind die Schneidkanten und der Formein-satz austauschbar, sodass verschiedene Schneidkantengeometrien und Umformgrade untersucht werden können. Es können flaschenförmige Formteile mit einer Höhe von 100 mm und einem Durchmesser von 40 und 56 mm hergestellt werden. Dies entspricht bei einem Vorformlingsdurchmesser von 14 mm einem Verstreckverhältnis von 3,6:1 und 5,4:1.

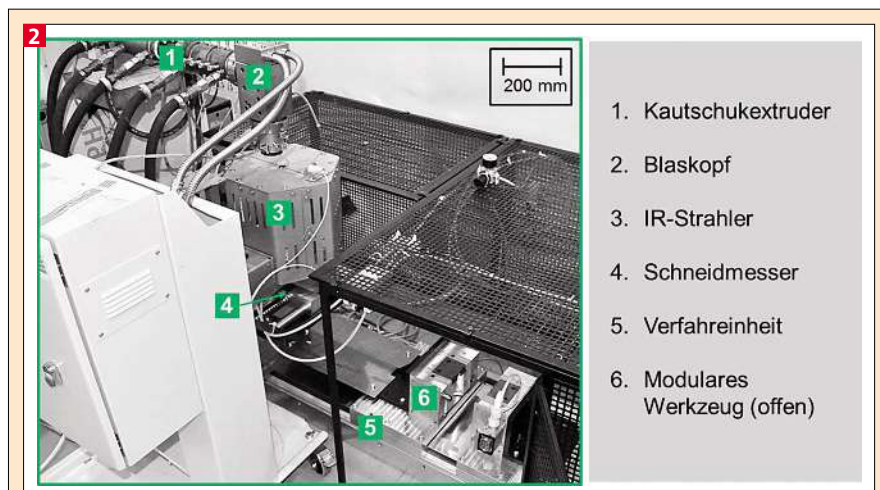


Bild 2: Demonstratoranlage für das Blasformen von Festsilikonkautschuk

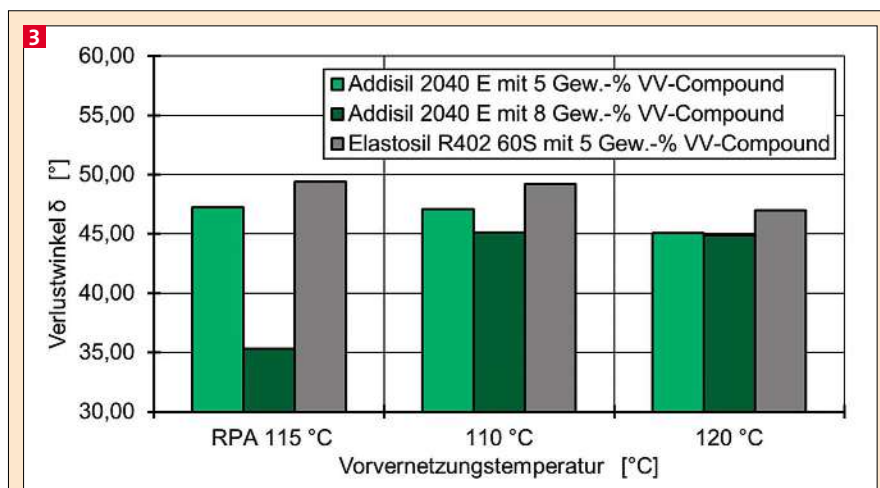


Bild 3: Bestimmung der Vorvernetzung von mittels RPA oder beheiztem Blaskopf vorvernetzter Festsilikonkautschuken anhand des Verlustwinkels

### Materialauswahl für das Blasformen von Festsilikonkautschuk

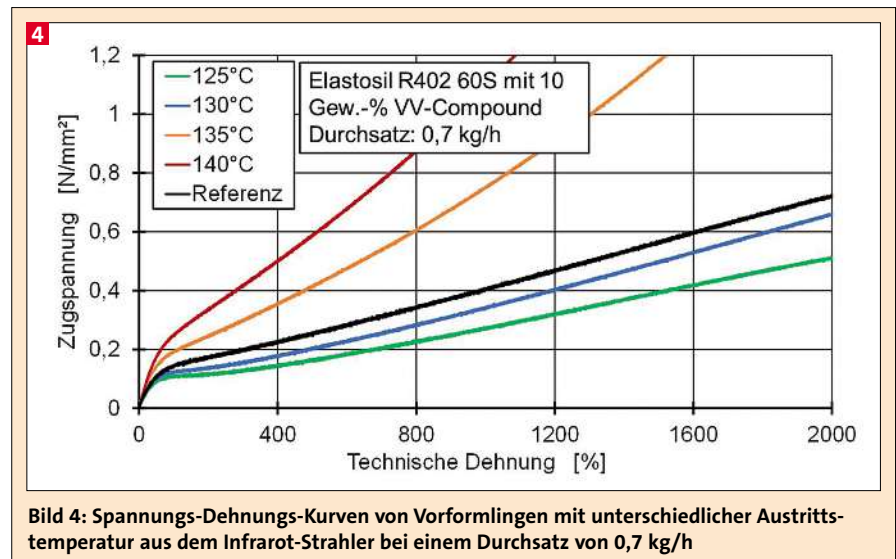
In den vorangegangenen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die besten Ergebnisse mit einem Anteil an Vorvernetzungscompound zwischen 5 Gew.-% und 10 Gew.-% erzielt werden [12]. Dabei kann der Festsilikonkautschuk sicher umgeformt werden und die für das Blasformen wichtige Verschweißbarkeit des

Materials bleibt erhalten. Materialunterschiede wie die Härte oder der Füllstoffgehalt zeigen keinen großen Einfluss auf das Umformverhalten. Mit den meisten untersuchten Materialien konnten zufriedenstellende Formteile hergestellt werden [4].

#### Vorvernetzung im beheizten Blaskopf

Um das Auslängen zu reduzieren, muss der Vorformling möglichst früh im Prozess vorvernetzt werden. Dazu wurde zum einen ein beheizter Blaskopf verwendet und zum anderen ein Infrarot-Strahler. Zunächst wurde die Vorvernetzung mittels des beheizten Blaskopfs untersucht. Um den Grad der Vorvernetzung zu bestimmen, wird der Verlustwinkel  $\delta$  [11] der im Blaskopf vorvernetzten Vorformlinge im RPA bestimmt. Im Vergleich mit dem Verlustwinkel des im RPA unter kontrollierten Bedingungen vorvernetzten Materials kann der Vorvernetzungsgrad ermittelt werden. Die Untersuchungen wurden an den Materialien Addisil 2040 E von Momentive Performance Materials GmbH, Leverkusen, und Elastosil R401 60S von Wacker Chemie AG, München, durchgeführt. Von dem Addisil 2040 E wurden zwei verschiedene Compounds mit unterschiedlichen Gehalten an Vorvernetzungscompound (5 und 8 Gew.-%) untersucht. Die Ergebnisse der Vorvernetzung mittels des beheizten Blaskopfs sind in Bild 3 dargestellt.

Es wurde sowohl eine Blaskopftemperatur von 110 °C als auch von 120 °C untersucht und mit den Vorvernetzungsgraden die im RPA bei einer Vorvernetzungstemperatur von 115 °C erzielt werden verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass der beheizte Blaskopf für die Vorvernetzung des Silikonkautschuks und damit für das Blasformen von Festsilikonkautschuken geeignet ist: Bereits bei einer Temperatur von 110 °C wird für Addisil 2040 E und Elastosil R402 60S mit 5 Gew.-% Vorvernetzungscompound die gleiche Vorvernetzung wie im RPA erzeugt. Bei einer Blaskopftemperatur von 120 °C vernetzt das Material bereits weiter. Dies deutet darauf hin, dass in der Schmelze im Blaskopf eine höhere Temperatur herrscht, als mit den Temperaturfühler gemessen. Nur für das Addisil 2040 E mit einem Anteil an Vorvernetzungscompound von 8 Gew.-% ist die Vorvernetzung bei Verlassen des Blaskopfs nicht abgeschlossen. Für eine stärkere Vorvernetzung muss mehr Energie eingebracht werden, daher wird eine län-



gere Verweilzeit im Blaskopf benötigt.

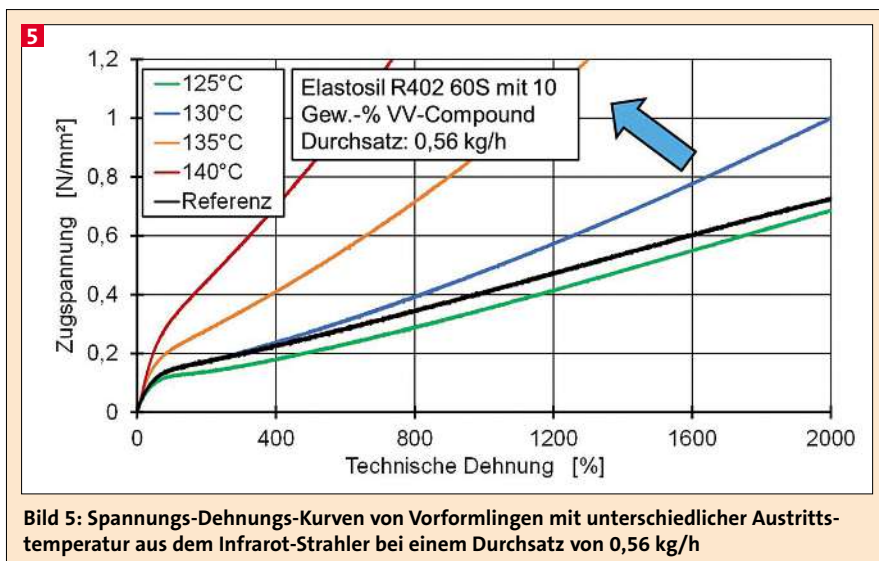
Bei Verwendung des beheizten Blaskopfes ergab sich allerdings folgende Einschränkung: Bei den für die Vorvernetzung benötigten Temperaturen kommt es nach einiger Zeit zu einem Verstopfen des Blaskopfs. Dies liegt an stark vernetzten Materialklumpen, die nach einiger Zeit auftreten und den Fließkanal blockieren. Es ist anzunehmen, dass eine ungleichmäßige Temperaturverteilung im Blaskopf im Zusammenspiel mit Totwassergebieten bzw. Gebieten mit langsamer Strömungsgeschwindigkeit dazu führen, dass der Kautschuk partiell zu stark vernetzt. Auch Gebiete erhöhter Schergeschwindigkeit können selbst bei einer Ringspaltströmung auftreten, wodurch es zu einer starken partiellen Erwärmung des Kautschuks und somit zu Temperaturspitzen kommt. Diese können zu einer übermäßigen Vernetzung führen [14]. Zukünftig sollte der Blaskopf so ausgelegt werden, dass im gesamten Fließkanal gleiche Schergeschwindigkeiten herrschen. Für die Untersuchungen darf die Temperatur des Blaskopfs nicht zu hoch sein, damit es nicht zum Verstopfen des Fließkanals kommt. Bei einer Temperatur unterhalb von 110 °C war das Material bei Verlassen des Blaskopfes nicht vollständig vorvernetzt. Die Viskosität des Silikonkautschuks wurde aber aufgrund der erhöhten Temperatur stark herabgesetzt. Dadurch längte sich der Vorformling stark aus. Da der Blaskopf nur vollständig beheizt werden kann und es nicht möglich ist, nur den unteren Düsenbereich zu beheizen, während der Bereich der Schlauchausformung gekühlt ist, konnte dieses System nicht zur Erzeugung der

Vorvernetzung verwendet werden. In weiterführenden Untersuchungen soll ein an das Blasformen von Festsilikonkautschuken angepasster Blaskopf entwickelt werden. Mittels eines modularen, temperierten Blaskopfs wird der Zusammenhang zwischen Material, Vorvernetzung und Werkzeugtechnik untersucht, wobei eine vollständige Vorvernetzung im Blaskopf erzeugt werden soll und eine Vernetzung darüber hinaus verhindert werden muss.

#### Vorvernetzung mittels Infrarot-Strahler

Neben der Vorvernetzung im Blaskopf wurde auch die Vorvernetzung mittels eines Infrarot-Strahlers untersucht. Der Infrarot-Strahler befindet sich kurz unterhalb des Blaskopfs (Abstand zum Blaskopf ca. 50 mm). Über den Durchsatz und die Strahlerleistung kann die sich im Vorformling einstellende Temperatur variiert werden. Zunächst wurde untersucht, wie sich die Strahlerleistung für verschiedene Durchsätze auf die Vorvernetzung auswirkt. Die Untersuchung wurden an dem Material Elastosil R402 60S für einen Anteil an Vorvernetzungscompound von 6 und 10 Gew.-% bei unterschiedlichen Volumenströmen von 8 bis 20 cm<sup>3</sup>/min durchgeführt.

Um den Grad der Vorvernetzung zu bestimmen, wurden aus den mittels des Infrarot-Strahlers vorvernetzten Vorformlingen Probekörper entnommen und im Zugversuch geprüft. Im Vergleich mit Spannungs-Dehnungs-Kurven von in einer Heißpresse (120 °C, 4 min) vorvernetztem Material (Referenz) kann der Vernetzungsgrad beurteilt werden. In Bild 4 sind die Ergebnisse der Zugprüfungen für das Material Elastosil R402/60S mit einem



**Bild 5:** Spannungs-Dehnungs-Kurven von Vorformlingen mit unterschiedlicher Austritts-temperatur aus dem Infrarot-Strahler bei einem Durchsatz von 0,56 kg/h

Anteil an Vorvernetzungscompound von 10 Gew.-% dargestellt. Das Material wurde mit einem Durchsatz von 0,7 kg/h extrudiert und mittels des Infrarot-Strahlers erwärmt. Über die Strahlerleistung kann die Temperatur variiert werden, die sich im Vorformling einstellt. Im Diagramm sind die mit einem Infrarot-Thermometer gemessenen Oberflächentemperaturen der Vorformlinge nach Verlassen des Infrarotstrahlers angegeben. Dies ist die maximale Temperatur, die der Vorformling erreicht, im weiteren Prozess kühlt der Vorformling ab, bis er gegen die heiße Werkzeugwand aufgeblasen wird. Beim Vergleich der Kurven wird deutlich, dass bereits eine geringe Erhöhung der Temperatur im Vorformling erheblichen Einfluss auf die Vorvernetzung hat, wobei die anvisierte Vorvernetzungstemperatur von 120°C zu unvollständig vorvernetz-

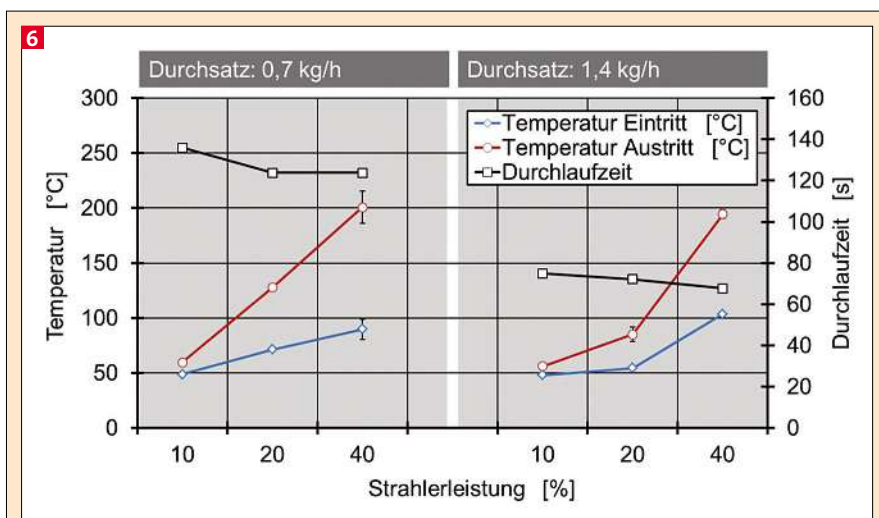
ten Vorformlingen führt. Selbst die Probe mit einer Temperatur von 130°C ist noch nicht vollständig vorvernetzt. Durch die Reduzierung der Extrusionsgeschwindigkeit kann die Temperatur länger einwirken, die sich aufgrund der Strahlerleistung im Vorformling einstellt, wodurch die Vernetzungsreaktion mehr Zeit hat, die Vorvernetzung zu erzeugen. In Bild 5 sind die Spannungs-Dehnungs-Kurven von Vorformlingen aufgetragen, die bei einem Durchsatz von 0,56 kg/h extrudiert wurden. Die Kurven der jeweiligen Austritts-temperatur des Vorformlings sind nach oben hin zu höheren Spannungen verschoben. Die Probe mit einer Temperatur von 130°C ist nun bereits zu stark vernetzt, da die Spannungs-Dehnungs-kurve oberhalb der Referenzkurve liegt. Die Probe mit einer Temperatur von 125°C liegt sehr nahe an der Referenzkurve. Die

Vorvernetzung, die sich im Vorformling aufgrund der Strahlerleistung einstellt, ist also sehr stark von der Extrusionsgeschwindigkeit abhängig. Allein anhand der Austritts-temperatur des Vorformlings lässt sich keine Aussage über den Vernetzungsgrad treffen.

Wie auch beim Einsatz des beheizten Blaskopfs längt sich der Vorformling beim Einsatz des Infrarot-Strahlers stark aus: In Bild 6 ist der Einfluss der Strahlerleistung auf die Temperatur des Vorformlings beim Eintritt in den Strahler als auch beim Austritt aus dem Strahler dargestellt. Die Durchlaufzeit gibt an, wie viel Zeit der Vorformling für den Durchlauf des Infrarot-Strahlers benötigte. Bei konstantem Durchsatz sollte auch die Durchlaufzeit konstant sein. Da sich der Vorformling aber aufgrund der Viskositätsenkung infolge der Temperaturerhöhung unter Eigengewicht auslängt ändert sich die Durchlaufzeit abhängig von der Temperatur im Vorformling. Je kürzer die Durchlaufzeit bei gleichem Durchsatz ist, desto stärker ist die Auslängung des Vorformlings. Die Untersuchungen zeigen, dass der Vorformling bei der für die Vorvernetzung benötigten Temperatur von 120°C stark auslängt. Eine Erhöhung der Strahlerleistung auf 20% für einen Durchsatz von 0,7 kg/h kann die Vorvernetzung beschleunigen und den Effekt des Auslängens zwar stoppen, aber der Vorformling wird dabei gleichzeitig so stark erwärmt, dass die zweite Vernetzungsstufe aktiv und die Endvernetzung erzeugt wird. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Erhöhung der Strahlerleistung die Eintritts-temperatur des Silikonkautschuks erhöht. Die durch den Infrarot-Strahler erwärmte Luft steigt auf und erwärmt den darüber befindlichen Vorformling. Dadurch sinkt wiederum dessen Viskosität und der Vorformling längt stark aus.

**Prozessanalytische Untersuchung des Umformprozess**

In Bild 7 sind sowohl Bauteilfehler, die beim Umformen der Vorformlinge entstehen können, als auch erfolgreich blasgeformte Bauteile für zwei unterschiedliche Materialien gezeigt. Eine gleichmäßige Vorvernetzung konnte mit den oben beschriebenen Heizkonzepten nicht reproduzierbar sichergestellt werden. Dies führt ebenso wie Fehl- oder Dünnstellen zu einem Einreißen des Vorformlings oder zu Schwachstellen im ausgeformten Bauteil.



**Bild 6:** Einfluss der Strahlerleistung auf die Vorformlingstemperatur und die Strahler-Durchlaufzeit für Elastosil R402 60S mit 6 Gew.-% Vorvernetzungscompound

Als erste Alternative wurde die Vorvernetzung im Heißluftofen durchgeführt und anschließend Bauteile mit einem Oberflächenverstreckverhältnis von 3,6:1 ausgeformt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Druckführung beim Umformen entscheidend für eine gute Umformung ist. Wird der Blasdruck zu schnell und zu stark (> 50 mbar) aufgebracht, so bildet sich zunächst eine Blase im Vorformling, die schließlich aufplatzt, wie in Bild 7 unter „Blasdruck zu hoch“ zu erkennen ist. Ist der Druck zu niedrig (25 mbar), so dehnt sich der Vorformling zwar gleichmäßig, allerdings nicht soweit, dass er die Werkzeugwand berührt, siehe Bild 7 „Blasdruck zu niedrig“. Zunächst muss der Vorformling also mit niedrigem Druck (25 mbar) vorgeblasen werden, anschließend kann er mit etwas höherem Druck (50 mbar) ausgeformt werden.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass neben dem Umformverhalten auch die Extrudierbarkeit des Materials eine entscheidende Rolle für die Eignung des Silikonkautschuks für das Extrusionsblasformen spielt [15]. So zeigt das Material Silplus 40 Ex sehr gute Umformeigenschaften im Zugversuch und in den Thermoformversuchen, ist aber schwierig zu extrudieren: Bei der Extrusion treten häufig Fehlstellen in Form kleiner Risse und Luftblasen auf, die ein erfolgreiches Blasformen verhindert haben. Durch die geringe Viskosität längte sich das Material während der Vorvernetzung im Infrarot-Strahler stark. Ein Material mit höherem Füllstoffgehalt und damit besserer Extrudierbarkeit und geringerer Viskositätsabsenkung wie Elastosil R402/60 ist für die Verarbeitung besser geeignet.

Zusätzlich zu den Umformuntersuchungen wurde die Quetschnahtqualität von zwei verschiedenen Schneidkantenometrien, einer konventionellen Schneidkante und einer Coextrusions-Schneidkante [13], in Abhängigkeit der Vorvernetzung und der Materialhärte untersucht. Dazu wurde die Quetschnaht im beheizten Blasformwerkzeug erzeugt, ausvernetzt und ein Zugprobekörper aus der Quetschnaht ausgestanzt. Dieser wurde auf seine mechanische Belastbarkeit im Zugversuch geprüft. Bild 8 zeigt den Vergleich der maximalen Kraft, die von der jeweiligen Quetschnaht ertragen wird. Es zeigt sich, dass mit der Coextrusions-Schneidkante stabilerer Quetschnähte erzeugt werden können. Insbesondere für das härtere Material (60 Shore A) mit einem höheren Anteil an



Bild 7: Aufblasverhalten des vorvernetzten Festsilikonkautschuks im Extrusionsblasformen

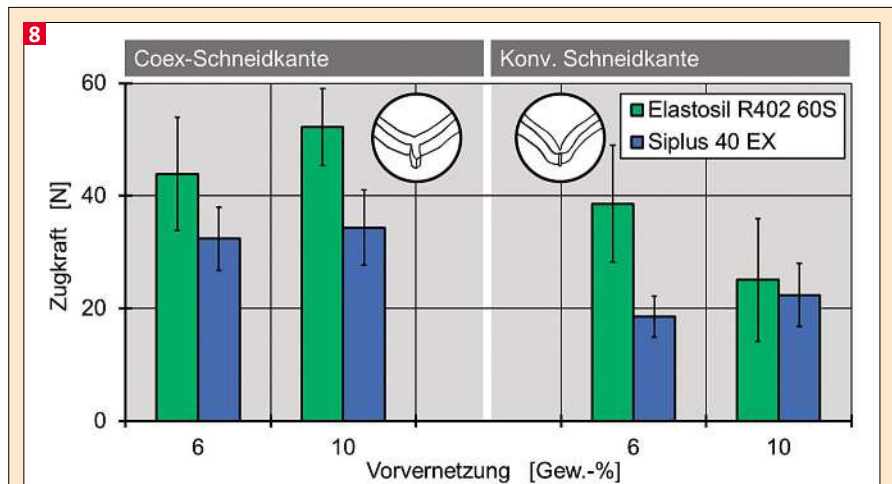


Bild 8: Untersuchung des Einflusses der Schneidkantenometrie auf die maximale Zugkraft der ausgeformten Quetschnähte für unterschiedliche Vorvernetzungsgrade und Materialien

Vorvernetzungscompounds (10 Gew.-%) kann mit der Coextrusions-Schneidkante die Belastbarkeit um 108% gegenüber der konventionellen Schneidkante gesteigert werden. Bei dem weicheren und dem schwächer vorvernetzten Material ist dieser Effekt nicht so deutlich, da hier auch mit der konventionellen Schneidkante relativ hohe Festigkeiten erreicht werden. Das Material ist im Vergleich zum härteren oder stärker vorvernetzten Material besser fließfähig und bildet eine dickere und dadurch stabilere Quetschnaht.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes zeigen das Potenzial zur Verarbeitung von Festsilikonkautschuken im Blasformverfahren, machen aber gleichzeitig deutlich, dass eine homogene Vorvernetzung für die erfolgreiche Umsetzung des Verfahrens entscheidend ist. In umfangreichen rheologischen und mechanischen Untersuchungen wurde das Material charakterisiert. Im Thermoformen konnte gezeigt werden, dass mit dem Ansatz der Vorvernetzung des Silikonkautschuks die Materialeigenschaften so verändert werden können, dass

qualitativ hochwertige Bauteile hergestellt werden können [11]. Bei der Übertragung auf das Blasformen hat sich gezeigt, dass die gezielte und reproduzierbare Erzeugung der Vorvernetzung die verfahrenstechnisch größte Herausforderung darstellt. Mit den untersuchten Systemen, beheizter Blaskopf und Infrarot-Strahler, konnte bislang keine zufriedenstellende Vorvernetzung erzeugt werden. Deshalb wird der Prozess derzeit noch zweistufig ausgeführt: Die extrudierten Vorformlinge werden in einem Zwischenschritt mit einem Heißluftofen vorvernetzt und anschließend in das beheizte Blasformwerkzeug, in dem die Umformung und Ausvernetzung stattfinden, eingelegt. Durch dieses Vorgehen war es möglich, Bauteile mit einem Oberflächenverstreckverhältnis von 3,6:1 herzustellen. Die Druckführung ist beim Umformen entscheidend. In weiterführenden Untersuchungen sollte die Erzeugung der Vorvernetzung weiter optimiert werden, sodass der Prozess einstufig ausgeführt werden kann. Dadurch können die Prozessfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit dieses neuartigen Verarbeitungsverfahrens geprüft werden.

### Dank

Das IGF-Forschungsvorhaben 17671 N der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Allen Institutionen gilt unser Dank.

Ebenso gilt unser Dank den Firmen Momentive Performance Materials GmbH, Leverkusen, Wacker Chemie AG, München, und Pergan GmbH, Bocholt, die diese Arbeiten mit Materialspenden unterstützt haben.

### Literatur

- [1] Albrecht, H., Wang, Y.; Boßhammer, S.: Faster Processing of Silicone Rubber. *Kautschuk Gummi Kunststoffe* **62** (2009) 6 296.
- [2] Lhota, C., Systemlösungen für Flüssigsilikonprodukte in Medizin und Pharmazie. *Kautschuk Gummi Kunststoffe* **64** (2011) 6 12.
- [3] Röthemeyer, F.; Sommer, F.: *Kautschuk Technologie*. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2006.
- [4] Holleman, A.F.; Wiberg, E.; Wiberg, N.: *Lehrbuch der anorganischen Chemie*. Berlin: de Gruyter 1995
- [5] N.N. Extrudierte Ladeluftschläuche. URL: [http://contitech.de/pages/produkte/schlauchleitungen/ladeluft/extrudierte\\_de.html](http://contitech.de/pages/produkte/schlauchleitungen/ladeluft/extrudierte_de.html), 04.03.2015.
- [6] N.N. Weithalsflasche aus Silikon. URL: <http://www.nuby.de/Content/Products>.
- [7] Moritzer E., Gövert S., Seidel S. Schnieders, J.: Sonderverfahren: Im geschlossenen Werkzeug aufgeblasen. *Kunststoffe* **104** (2014) 5 38.
- [8] Küddelsmann, K., Vom Krümmer zum verzweigten Schlauchsystem, in *Technische Problemlösungen mit Elastomeren*, V.G.K. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf: VDI-Verlag 1992.
- [9] Lynch, W., *Handbook of Silicone Rubber Fabrication*. New York, London: Van Nostrand Reinhold 1978.
- [10] DE 000 002 453 132 A1.
- [11] Hopmann, C., Schäfer, S., Funk A.: Blow moulding of silicone rubber using platinum catalyzed curing systems and investigation of the pinch-off weld formation, in *Tagungsumdruck zum KHK 11th Fall Rubber Colloquium*, Hannover 2014.
- [12] Hopmann C., Mehler C., Behmenburg, C., Funk A.: Blasformen von Siliconlautschuken – Ein innovativer Ansatz zur Herstellung elastomerer Hohlkörper, in *Tagungsumdruck zum 27. Internationalen Kolloquium Kunststofftechnik*. 2014, Shaker: Aachen. S. **18/21–39**.
- [13] Thielen M., Hartwig K.; Gust, P.: *Blasformen von Kunststoffhohlkörpern*. München: Hanser 2006.
- [14] Michaeli W., *Extrusionswerkzeuge für Kunststoffe und Kautschuk*. München: Hanser 2009.
- [15] Hopmann, C., Schäfer S.: *Blasformen von Siliconkautschuken*. Entwicklung und Erprobung einer innovativen Prozesstechnik, VDI-Fachtagung Blasformen 2015., VDI-Verlag: Düsseldorf 2015.

## VERANSTALTUNG

### Internationaler Marktplatz für Kunststofftechnik

**FAKUMA** Mit einem komplett belegten Messezentrum in Friedrichshafen am Bodensee steuert die Fakuma in ihrer 24. Auflage auf Rekordkurs! Damit festigt die Fakuma – Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung ihren anerkannten Ruf als Branchenereignis Nr. 1 für Spritzgieß-, Extrusions- und Thermoform-Technologien in Europa und weit darüber hinaus. Auch additiv-/generativen 3D-Verfahren werden eine hervorzuhebende Rolle spielen, obschon exakt dieser Part beziehungsweise dessen Vorfahren wie STL und Laser-Sintern schon seit über 20 Jahren zum Ausstellungs-Portfolio der Fakuma gehören, früher jedoch vor allem im Prototyping und in der Musterserienfertigung ihre Anwendung fanden. Ausgehend von der stark zunehmenden Materialvielfalt und speziell auf Funktionen zugeschnittenen Material-Eigenschaften, dürfte die Verbreitung der 3D-Verfahren rasant zunehmen und das Angebot an kunststoffverarbeitenden Fertigungsverfahren mehr als nur abrunden. Zur diesjährigen Fakuma präsentieren Hersteller und Anbieter aus nunmehr 35 Industrienationen zahlreiche

neuen Technologien und Verfahren sowie Anwendungen, von denen die Branche schon im Oktober 2015 profitieren kann. Nach dem traditionell stärksten Ausstellerkontingent aus Deutschland (925 Unternehmen) folgen Italien (102), Schweiz (97), Österreich (63), Frankreich (43), China (41), Portugal (27), Niederlande (25), Tschechien

(20) und Türkei (17), womit Europa nach wie vor die führende Rolle innehat. Die Fakuma 2015 findet vom 13. bis 17. Oktober im Messezentrum Friedrichshafen im Dreiländereck Bodensee statt und erwartet rund 46.000 Fachbesucher aus weit über 100 Nationen.

[www.fakuma-messe.de](http://www.fakuma-messe.de)



Bild: P. E. Schall

Epoxidized natural rubber • aging • zinc diacrylate • vulcanization • physical properties

Diene-based rubbers such as natural rubber are generally thermal/oxygen susceptible. Here, we report the preparation of highly ageing resistant epoxidized natural rubber (ENR) elastomeric composites using newly developed curing chemistry based oxa-Michael reaction. Zinc diacrylate (ZDA) is capable to cure ENR into highly elastic network. The observed long-marching curing behavior permits the tuning of mechanical properties without sacrificing the good elasticity by simply changing the curing time. The ZDA-cured ENRs/silica composites possesses comparable cold tolerance compared with that for sulfur-cured counterpart. Without any additional antioxidant, the ZDA-cured ENR/silica composite exhibits much higher ageing resistance compared with the sulfur-cured counterpart.

### Elastomerkomposite auf der Basis von Zink-Diacrylaten und vulkanisierten epoxidierten Naturkautschuk

Epoxidierter Naturkautschuk • Alterung • Zink-diacrylat • Vulkanisation • physikalische Eigenschaften

Auf Dienen basierende Kautschuke wie Naturkautschuk sind im Allgemeinen thermisch/oxidativ empfindlich. Hier wird über hoch alterungsbeständige Elastomerkomposite aus epoxidierten Naturkautschuk (ENR) durch den Einsatz neuentwickelten Vernetzungschemie, die auf der oxa-Michael Reaktion basiert, berichtet. Zink-diacrylat (ZDA) ist in der Lage ENR zu einem hochelastischen Netzwerk zu vernetzen. Das beobachtete lang ansteigende Vernetzungsverhalten erlaubt die Anpassung der mechanischen Eigenschaften ohne die gute Elastizität durch einfaches Verändern der Vernetzungszeit zu beeinträchtigen. Die ZDA-vernetzten ENR/Kieselsäure Komposite besitzen eine im Vergleich zu schwefelvernetzten Materialien vergleichbare Kälteflexibilität. Ohne jegliches Antioxidant zeichnen sich die ZDA-vernetzten ENR/Kieselsäure Komposite durch eine deutlich höhere Alterungsbeständigkeit im Vergleich zu den schwefelvernetzten Materialien aus.

Figures and tables:  
By a kind approval of the authors.

# Elastomeric Composites based on Zinc Diacrylate-Cured Epoxidized Natural Rubber: Mechanical Properties and Ageing-Resistance

Diene-based rubbers, such as natural rubber (NR) and styrene-butadiene rubber (SBR), have been widely used in diverse industries. For diene rubbers, sulfur and the peroxides are most commonly used vulcanizing agents [1, 2]. However, some apparent defects such as limited ageing resistance [3] and large compression set [4-6], have been demonstrated in some rubbers cured by sulfur or peroxides. For sulfur-cured rubbers, the main reasons for poor ageing resistance are the remained unsaturated bonds and the presence of polysulfide bonds, which is susceptible to heat/oxygen condition [7,8] (bond energy of 113 kJ/mol versus 390 kJ/mol for C-C bond [9]). With respect to peroxide-cured rubbers, the large compression set is related to the residual peroxide after the curing, which would continue initiating the free radical reaction at a low degree [5]. To improve the anti-ageing properties of the diene rubbers, various antioxidants have been incorporated into the rubbers. Although improved ageing resistance has been achieved, these rubber materials generally suffer from the immigrating of antioxidant [10,11] and the potential toxicity such as carcinogenicity caused by many antioxidants [12, 13]. Therefore, the exploration of new crosslink chemistry for diene based rubber for better ageing resistance and mechanical properties is of great importance.

The addition reaction between nucleophilic carbon and conjugate receptor, namely Michael addition reaction, has been known widely. Although the hetero-Michael reactions, such as aza-Michael, oxa-Michael and thio-Michael, had been less reported, they have also attracted many attentions in recent years [14-16]. Oxa-Michael addition reaction, one of the hetero-Michael reactions, has been applied in the organic synthesis under different catalyst conditions. Polymerization of hydroxyethyl acrylate via a non-radical pattern has been achieved by

employing oxa-Michael addition between hydroxyl and double bonds, catalyzed by triphenylphosphine [15]. The thio-Michael reaction between diacrylic ester and dithiol, catalyzed by hexylamine has been employed to synthesize poly ( $\beta$ -sulphur ester) and the reaction route is similar to oxa-Michael reaction [16].

Previously we disclosed a new curing chemistry for diene-based rubbers [17]. In previous work, epoxidized natural rubber (ENR) was cured by different amount of zinc acrylate (ZDA) efficiently. The oxa-Michael mechanism and excellent ageing resistance comparing with sulfur-cured ENR have been revealed. If high content of ZDA is used, the cured ENR suffered from deteriorated cold tolerance (improved glass transition temperature). Therefore, in the present work, we aim to develop highly ageing resistance elastomers by using small amount of ZDA (2 phr). Due to the disclosed interesting long-marching curing behaviors, we intend to tune the mechanical properties of ZDA-cured ENR simply by controlling the curing time without sacrificing the elasticity. Such unique performance may attach extra importance to practical application of this kind of rubber material.

## Authors

Xuhui Zhang, Tengfei Lin,  
Zhenghai Tang, Baochun Guo,  
Guangdong, China

Corresponding author:  
Baochun Guo  
South China University of Technology  
381 Wushan Rd, Tianhe,  
Guangzhou, Guangdong, China  
E-Mail: psbcguo@scut.edu.cn



**1 Composition of ENR/silica cured by ZDA or sulfur**

Sample	EZSO	EZS10	EZS20	EZS30	EZS40	EZS50	ESS30	ESS40	ESS50
ENR	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ZDA	2	2	2	2	2	2			
Silica	0	10	20	30	40	50	30	40	50
Sulfur							1.5	1.5	1.5
ZnO							4	4	4
Sta							2	2	2
4010NA							2	2	2
DM							0.5	0.5	0.5
CZ							1.5	1.5	1.5

CZ, N-cyclohexyl-benzothiazole-2-sulphenamide; 4010 NA, Nisopropyl-N'-phenyl-p-phenylene diamine; DM, 2,2'-dibenzothiazole disulfide; Sta, stearic acid; ZnO, zinc oxide.

In addition, the reinforcement of silica and the ageing properties of the reinforced rubber were studied referring to the sulfur-cured counterpart.

### Experimental

#### Raw materials

ENR with an epoxidization degree of 50% was purchased from the Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Zhanjiang, China. ZDA (chemically pure) was purchased from Alfa Aesar. Precipitated silica (VN3, specific area of 175 m<sup>2</sup>/g) was purchased from Evonik Degussa Co., Ltd. Other rubber additives were industrially available products and used as received.

#### Preparation of ENR Vulcanizates Cured by ZDA or Sulfur.

ENR, ZDA and different amounts of silica were mixed in an open two-roll mill and compositions of the rubber compounds were listed in Table 1. To compare the properties between ZDA-cured ENR and sulfur-cured ENR, the reinforced ENR

compounds with 30, 40, 50 phr of silica were also cured by sulfur. For all samples, the well mixed compounds were press-cured at 160 °C with Tc90 to get sheets of curing rubber. Specially, for neat ZDA-cured ENR and ZDA-cured ENR/silica composites with 40 phr silica, the well mixed compounds were hot pressed at 160 °C for regular time (7, 14, 21, 28, 35 min) to investigate the effect of curing time on the performance of the cured rubber.

#### Characterization

The curing profiles of the ENR compounds were determined at 160 °C by UCAN UR-2030 vulcameter (Taiwan). Tensile and tear tests of composites at room temperature were measured using UCAN UT-2060 (Taiwan) instrument with extension rate of 500 mm/min. The tension-recovery deformation was performed by UCAN UT-2060 (Taiwan) instrument with extension rate of 100 mm/min and regular strain of 310%. Dynamic mechanical analysis (DMA) was performed with a TA Q800 dynamic mechanical analyzer (USA). The test was carried out at the tension condition with a frequency of 1

Hz and the scanning temperature was ranged from -60 to 100 °C at a heating rate of 3 °C/min. The cryogenically fractured surfaces of the composites were observed by field emission scanning electron microscopy (FESEM, Nova Nano SEM 430). Heat/oxygen ageing was conducted in an age-circulating oven (GT-7017-NL) at 100 °C for 14 days. The tensile properties of the aged samples were determined after conditioning the samples at room temperature for 24 h.

Crosslink density was measured by the equilibrium swelling method [18]. Samples were swollen in toluene at room temperature for 72 h and then removed from the solvent and the surface toluene was wiped off quickly with tissue paper. The samples were immediately weighed on an analytical balance and then dried in a vacuum oven for 36 h at 80 °C to remove all the solvent and reweighed. The volume fraction of ENR in the swollen gel,  $V_r$ , was calculated by the following equation [19]:

$$V_r = \frac{m_0 * \Phi * (1 - \alpha) / \rho_r}{m_0 * \Phi * (1 - \alpha) / \rho_r + (m_1 - m_2) / \rho_s} \quad (1)$$

where  $m_0$  is the sample mass before swelling,  $m_1$  and  $m_2$  are sample masses before and after drying,  $\Phi$  is the mass fraction of rubber in the vulcanizates,  $\alpha$  is the mass loss of the gum ENR vulcanizate during swelling, and  $\rho_r$  and  $\rho_s$  are the rubber and solvent density, respectively. The crosslink density,  $V_e$ , was then calculated by the well-known Flory-Rehner equation [20]:

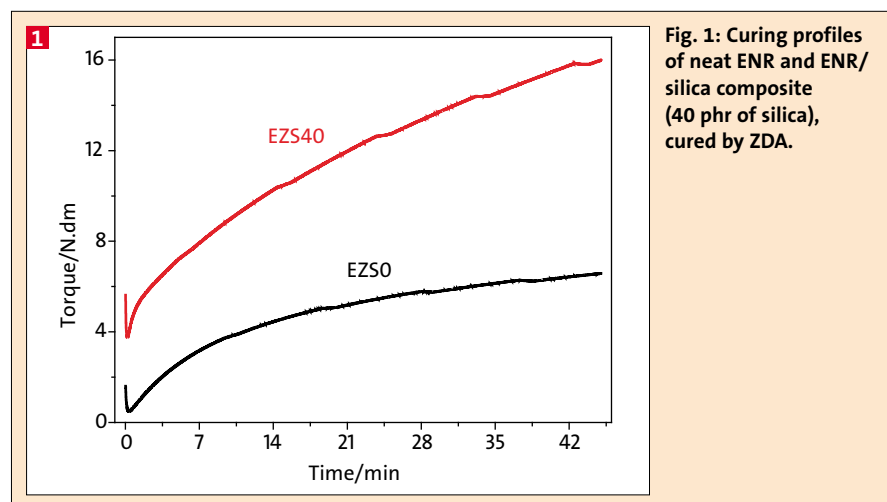
$$V_e = \frac{\ln(1 - V_r) + V_r + \chi V_r^2}{V_s (V_r^{1/3} - V_r/2)} \quad (2)$$

where  $V_r$  is the volume fraction of the polymer in the vulcanizate swollen to equilibrium and  $V_s$  is the solvent molar volume (106.5 cm<sup>3</sup>/mol for toluene).  $\chi$  is the ENR-toluene interaction parameter and is taken as 0.341 according to reference [21].

### Results and discussion

#### Tunable mechanical properties in virtue of long-marching curing behavior

Figure 1 depicts the curing profiles of EZSO and EZS40. The curve shows continuous increasing trend for the torque with increasing curing time, which was known as long-marching curing behavior. As is reported, the mechanism of ENR cured by ZDA is the oxa-Michael



**Fig. 1: Curing profiles of neat ENR and ENR/silica composite (40 phr of silica), cured by ZDA.**

reaction between epoxy group and ZDA, namely the ongoing ring-opening of epoxides into hydroxyls and  $Zn^{2+}$  act as catalyst<sup>17</sup>. Because of the ongoing reaction, the vulcanizates exhibit the long-marching curing behaviors. Therefore, it might possess tunable mechanical performance by controlling curing time. With respect to the curing profiles of EZS40, it is obvious that with the addition of silica, remarkable improvement of torque and enhanced long-marching curing behaviors are observed. The enhancement of long-marching curing behaviors should be ascribed to temporary consumption of  $Zn^{2+}$ . As is discussed in our previous work,  $Zn^{2+}$  could catalyze the oxa-Michael reaction. On one hand, ZDA is highly oxophile and could form carbonyl-metal ion complexation, which would promote nucleophilic attack between  $-OH$  of ENR and  $-C=C-$  of ZDA [22]. On the other hand, ZDA is regarded as nucleophilic cation as well as Lewis acid to catalyze the ring-opening reaction of ENR [23, 24]. So the oxa-Michael reaction is easy to occur with the function of ZDA. When plenty of silica is added in the system, silica would adsorb part of ZDA via hydrogen bonding and reduces the efficient amount of catalyst, which results in the decreased of catalytic efficiency. Therefore, the temporary consumption of  $Zn^{2+}$  should be responsible for the resulted more obvious long-marching curing behavior.

Figure 2 shows the crosslink density of sulfur-cured ENR and ZDA-cured ENR with different curing time. The crosslink density of sulfur-cured ENR is  $1.68 \cdot 10^{-4} \text{ mol.cm}^{-3}$ , which is noted by the dotted line in Figure 3. For ZDA-cured ENR, it is shown that the crosslink density of EZS0 continuously increased with the increasing of curing time. At 7 min of curing time, the crosslink density of EZS0 reaches  $1.36 \cdot 10^{-4} \text{ mol.cm}^{-3}$ , indicating that the EZS0 sample gains sufficient crosslinking. When the curing time reaches 14 min, the crosslink density approaches to that achieved by sulfur-cured one. The crosslink density of EZS0 exceeds that for the sulfur-cured ENR when curing time is over 21 min. Those preliminary results indicate that the ZDA-cured ENR, even though with short curing time, is efficiently cross-linked.

The identification of the good resilience of EZS0 under different curing time is essential. Therefore, the tension-recovery curves of EZS0 with different curing time are measured and shown in Figure

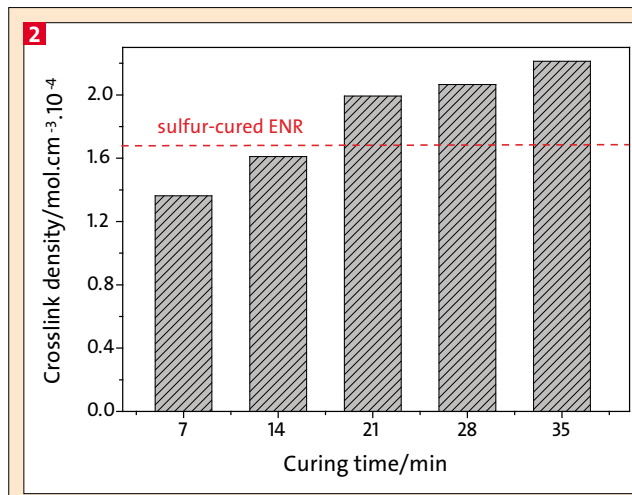


Fig. 2: Crosslink density of EZS0 with different curing time (comparison with sulfur-cured ENR).

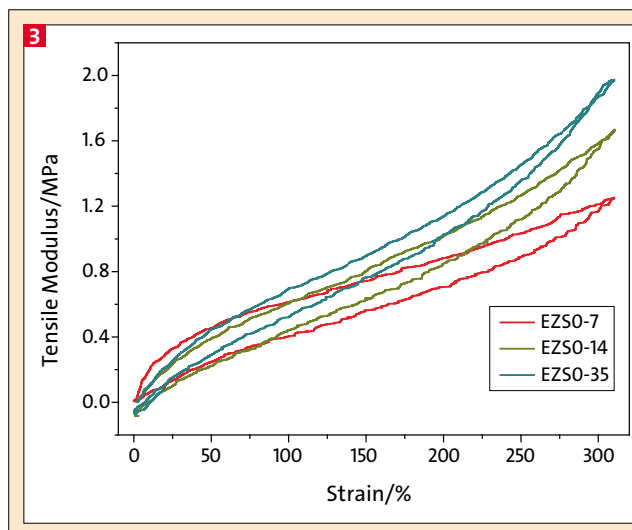


Fig. 3: Tension-recovery curves of EZS0 with different curing time.

3. The curing times are set as 7, 14, 21, 28 and 35 min, which are noted in the legend of Figure 3 and the  $T_{c90}$  of EZS0 is 35 min. It is shown that with the increasing of curing time, the tensile modulus of EZS0 sample increases consistently. This might be ascribed to the higher crosslink density along the increase in curing time. It is clear shown that all the samples own small permanent set after recovery, indicating good elasticity. The results demonstrate that EZS0 with different curing time is well cured and shows good resilience.

To further improve the mechanical properties of ZDA-cured ENR, nanosilica is added and the enhanced long-marching curing behaviors is found in Figure 1. Table 3 shows the mechanical properties of EZS40 with different curing time. Obvious increases in tensile strength and tensile modulus are observed with increasing curing time. The tensile strength and modulus at curing time of 7 min are 8.5 MPa and 4.9 MPa respectively. When the curing time is increased to 35 min, these values are increased by 70% and 110%, respectively. Permanent set does

3 Mechanical properties of EZS40 at changing curing time					
Sample	Elongation at break, %	Tensile strength, MPa	200% modulus, MPa	Permanent set, %	Shore A hardness
EZS40-7	436	8.5	4.9	12	72
EZS40-14	380	11.4	6.6	9	78
EZS40-21	337	13.9	8.2	9	81
EZS40-28	316	15.2	9.5	9	84
EZS40-35	279	14.6	10.1	8	84

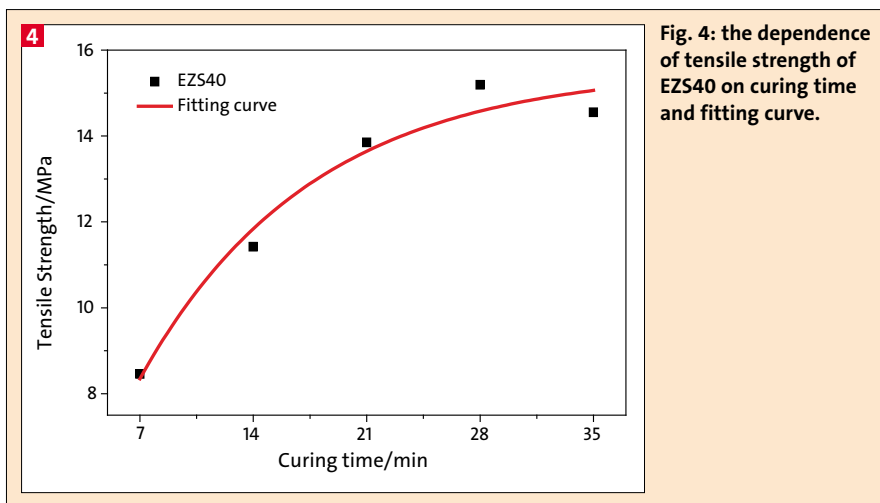


Fig. 4: the dependence of tensile strength of EZS40 on curing time and fitting curve.

not changed much, indicating all these samples possess good elasticity. The long-marching curing behavior is responsible for the changes in mechanical properties. Figure 4 depicts the dependence of tensile strength of EZS40 on curing time and the corresponding fitting curve. With increasing curing time, tensile strength increased continuously and showed an exponential relationship with curing time according to the fitting curve. Moreover, during the range of 7 ~ 21 min, the tensile strength is steeply increased with increasing curing time while above 21 min, it increases in much slight trend. That is because the curing reaction tends to complete with increasing curing time and amount of efficient reactive groups declines. With the obvious dependence of mechanical properties on curing time, we could therefore tune the mechanical properties by controlling curing time without adding any additives.

Figure 5 presents the DMA curves of EZS40 with different curing time. As is

shown, at low temperature storage modulus shows little difference while at high temperature  $E'$  shows an obvious increasing trend with increasing curing time. In the  $\tan \delta$  curves, the peak value of  $\tan \delta$  decreased slightly along the increasing of curing time. Besides, except for sample with a curing time of 7 min, the  $T_g$ s for other samples is increased but show little dependence on curing time.  $T_g$  of elastomer network is usually determined by two factors, i.e. molecular weight between two adjacent crosslinks and the interfacial interaction between the chain and the particle. In all the samples, the molecular weight between two adjacent crosslinks is in the same magnitude (Figure 2). Along the proceeding of the curing reaction, more and more hydroxyls generate[17], which in turn strengthen the interface between silica and the chain via hydrogen bonding. Consequently, with increasing curing time, the interfacial interaction tends to increasing consistently. Therefore the  $E'$

in rubbery state is consistently increased. The increasing crosslink density along the increase in curing time also contributes to the increase in  $E'$ . Regarding to the  $T_g$ , at shorter curing time (7 min), the interfacial interaction is weakest and therefore the composite has the lowest  $T_g$ . When the curing time is higher than 7 min, the interfacial interaction is sufficiently high and the  $T_g$  increases to a constant. It should be noted that all the samples possess  $T_g$  well below room temperature, suggesting good cold tolerance. The consistently decrease in peak value of  $\tan \delta$  is also indicative to the continuously increased interfacial interaction.

According to these results we come to a conclusion that the ENR cured by ZDA exhibited an interesting tunable mechanical property, by simply controlling curing time without sacrificing good elasticity, low glassy transition temperature and efficient crosslink. Addition of silica enhanced the adjustability in the mechanical properties.

#### Reinforcement of ZDA-cured ENR with silica

According to the discussed above, we found that silica could improve the tensile strength of ZDA-cured ENR effectively. We therefore made detail study on the reinforcement of silica to ZDA-cured ENR. The curing time is chosen as 35 min to obtain fully cross-linked network of ENR. As is shown in Table 4, with increasing silica loading, tensile strength improves significantly for ENR/silica composites. For example, comparing to the neat ZDA-cured ENR, the tensile strength of EZS50 is increased by 240%. The sulfur-cured ENR/silica composites showed

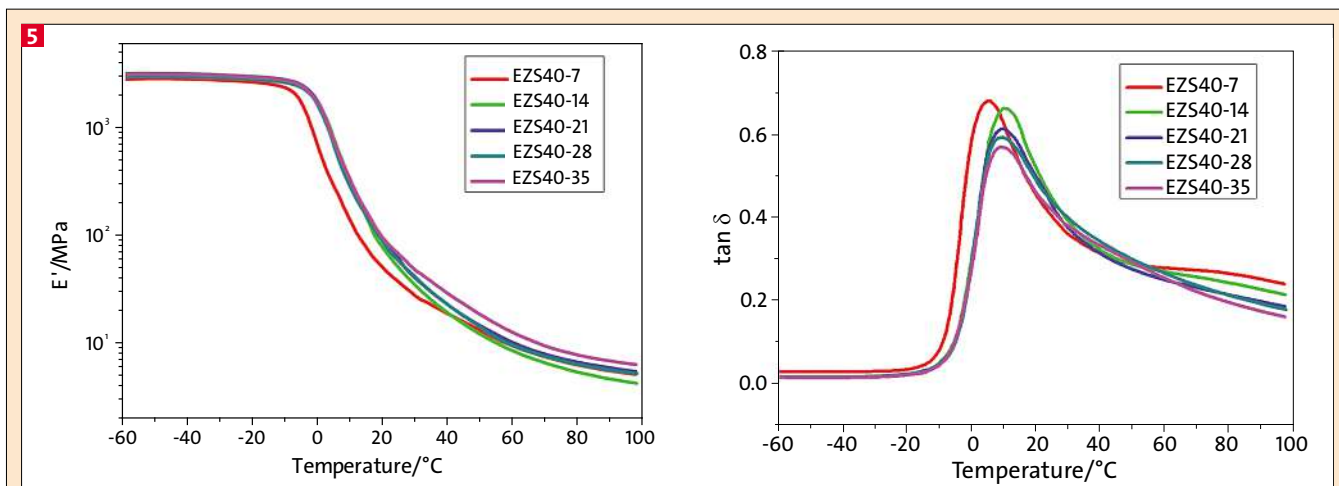


Fig. 5:  $E'$  (left) and  $\tan \delta$  (right) of ENR cured by ZDA with variable curing time.

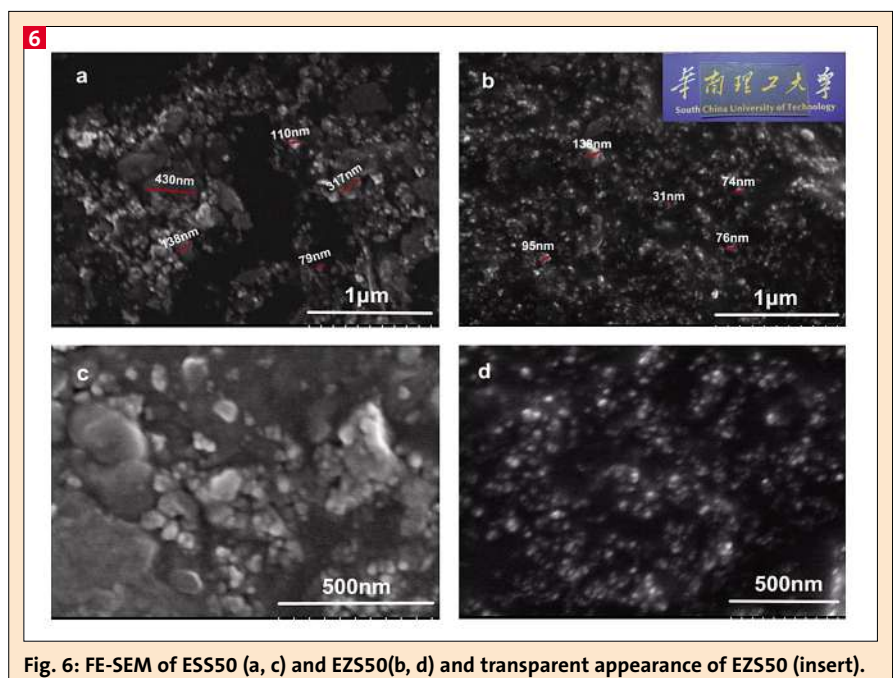
a contrary trend, in which tensile strength decreases when silica content is increased from 30 phr to 50 phr. This can be explained by the dispersion of silica. In ZDA-cured ENR, uniform dispersion and stronger interfacial interaction between silica and ENR are achieved and resulted in significant increase in mechanical strength. As for sulfur-cured ENR, the dispersion of silica is much poorer (to be substantiated later). Higher content of silica may generate more silica aggregate which serve as the local stress concentration points. Consequently, the elongation at break and tensile strength decrease with increasing silica loading. In addition, although the tear strength is slightly lower than sulfur-cured ENR, ZDA-cured ENR composites exhibit much higher tensile modulus due to better dispersion of silica. Furthermore, because of higher crosslink density of ZDA-cured ENR (Figure 2) and lower break strain, the permanent set of ZDA-cured ENR/silica composites is essentially lower than that for sulfur-cured one.

SEM is conducted to investigate the dispersion state of silica. As one can see from Figure 6, the size of silica aggregates in sulfur-cured ENR/silica composites varies from about 80 nm to 340 nm (figure 6 (a) (c)). For ZDA-cured ENR/silica composites, only a few silica aggregates with much smaller size are observed (figure 6 (b) (d)). Silica is found dispersed uniformly in ZDA-cured ENR matrix. Considering that the ZDA-cured ENR network contains plenty of hydroxyls, which could form hydrogen bonding with hydroxyls on the surface of silica, the good dispersion of silica is attributed to the non-covalent interaction between silica and ZDA. Additionally, the residue epoxy groups also contribute to the excellent dispersion via hydrogen bonding between epoxy group and hydroxyl on silica. Therefore it is concluded that ZDA-cured ENR network exhibits much higher affinity towards silica and much stronger interfacial interaction results. Notably, ZDA-cured ENR composites exhibit high transparency (Figure 6b), which gives further hint for the excellent dispersion of silica in ZDA-cured composites.

Figure 7 depicts the DMA curves of ZDA-cured ENR with different silica content. In both glassy region and rubbery region,  $E'$  of ENR/silica composites increases continuously with increasing silica loading. For example, at 40 °C, with addition of 50 phr silica the storage modulus is increased by more than 20 folds compa-

**4** Dependence of mechanical properties on silica loading for ZDA-cured ENR composites and sulfur-cured counterparts

Sample	Elongation at break, %	Tensile strength, MPa	100% modulus, MPa	Tear strength, kN.m <sup>-1</sup>	Permanent set, %	Shore A hardness
EZS0	439	3.90	0.7	6.9	0	37
EZS10	441	5.2	0.8	8.4	3	45
EZS20	328	6.0	1.5	12.6	3	60
EZS30	212	10.9	4.7	19.6	4	73
EZS40	217	13.1	6.3	25.2	5	80
EZS50	188	13.3	7.5	31.2	7	87
ESS30	445	25.3	2.9	24.8	21	71
ESS40	335	21.5	4.2	28.8	19	76
ESS50	249	15.5	5.3	32.8	11	80



**Fig. 6:** FE-SEM of ESS50 (a, c) and EZS50(b, d) and transparent appearance of EZS50 (insert).

ring to the neat ENR. The significant increase in storage modulus is attributed to the excellent dispersion of silica and strong interfacial interaction. Along the increase in silica content, the peak value of  $\tan \delta$  decreases consistently. This is attributed to the consistently increased confinement of the chain with increasing filler loading. The glass transition is practically independent on the silica loading although the glass transition is broadened at high loading of silica. The broadening of the glass transition may be due to the increasing content in confined interfacial region, which possesses higher  $T_g$  and broader transition characteristics.

Data of  $T_g$  and  $\tan \delta$  of sulfur-cured ENR and ZDA-cured ENR with 30, 40, 50 phr silica are tabulated in Table 5 according to DMA results. It is clearly shown that, at the same silica content, the peak

value of  $\tan \delta$  for ZDA-cured composite is lower than that for sulfur-cured composites. Such result is due to the combination of higher interfacial interaction and higher crosslink density in ZDA-cured sample. Although  $T_g$  for ZDA-cured composite is slightly higher than the sulfur-cured counterpart, it is still well below room temperature, rendering the good cold tolerance of the elastomeric composites.

#### Ageing-resistance of the composites

Exploration of highly ageing resistant diene rubber has always been the focus in rubber researches. Figure 8 exhibited profiles of retention of elongation at break at different ageing time of ENR cured by sulfur or ZDA. As one can see, the retention of sulfur-cured composite decreases drastically and the retention is less than 30% after ageing at 100 °C for

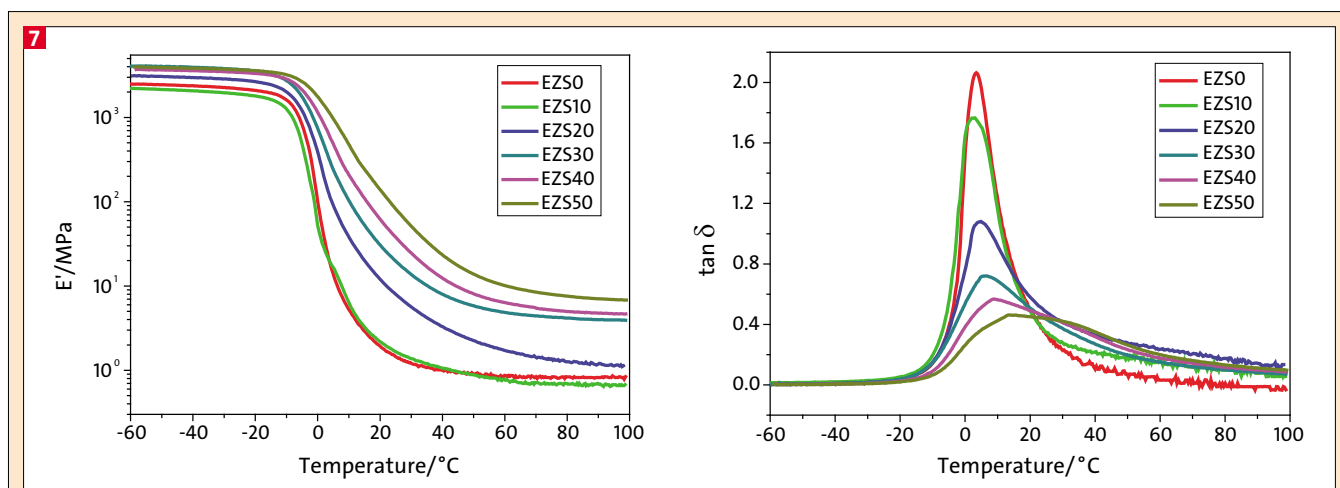


Fig. 7: DMA curves: a) storage modulus ( $E'$ ); b)  $\tan \delta$  of ZDA-cured ENR with increasing silica loading.

5 $\tan \delta$ values and $T_g$ s of ENR composites cured by ZDA or sulfur						
	EZS30	EZS40	EZS50	ESS30	ESS40	ESS50
Tan $\delta$	0.72	0.57	0.46	0.88	0.70	0.56
$T_g/^\circ\text{C}$	6.0	8.9	14.0	3.1	5.7	11.9

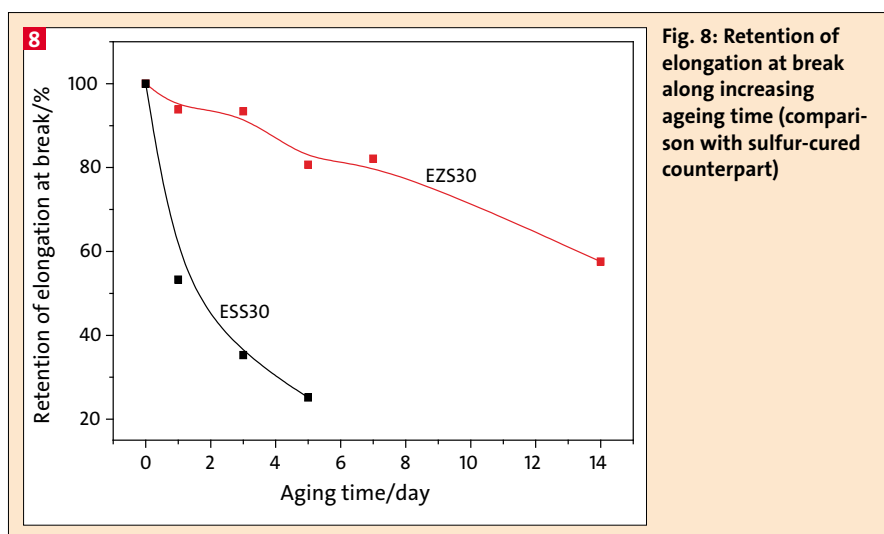


Fig. 8: Retention of elongation at break along increasing ageing time (comparison with sulfur-cured counterpart)

posites exhibited unique long-marching curing behavior, which permitted the tuning of its mechanical properties without sacrificing the good elasticity by simply controlling the curing time. Comparing to sulfur-cured counterpart, silica showed much better dispersability in ZDA-cured ENR network, due to the stronger interfacial interactions between silica and the rubber chains. The nanosilica showed excellent reinforcing ability towards ZDA-cured ENR. At same silica loading, ZDA-cured composite exhibited much higher modulus. The ZDA-cured ENR/silica composites possessed comparable cold tolerance compared with that for sulfur-cured counterpart. Very impressively, ZDA-cured ENR/silica composites exhibited excellent anti-ageing property without any additional antioxidant. After 14 days at 100 °C, the composite retained 60% of the break strain. By contrast, the sulfur-cured composites with regular antioxidant lost its elasticity completely after 7 days ageing. The present work provides new solution for the preparation of highly ageing resistant elastomer based on diene rubber via new curing chemistry.

### References

- [1] Lorenz, O.; Parks, C. R.: The crosslinking efficiency of some vulcanizing agents in natural rubber. *Journal of Polymer Science* 1961, **50**, 299.
- [2] Rajesh Babu, R.; Shibulal, G. S.; Chandra, A. K.; Naskar, K.: *Compounding and Vulcanization*. 2013, **11**, 83.
- [3] Poh, B. T.; Kwok, C. P.; Lim, G. H.: Reversion behaviour of epoxidized natural rubber. *European Polymer Journal* 1995, **31**, 223.
- [4] Mishra, J. K.; Chang, Y.-W.; Kim, W.: The effect of peroxide crosslinking on thermal, mecha-

5 days. Within 7 days, the sulfur-cured sample loses its elasticity completely and becomes brittle. With respect to ZDA-cured composite, the retention is as high as 80% after ageing at 100°C for 7 days. The sample remains retention of about 60% in break strain after ageing over 14 days, which is impossible in most cured diene based rubber systems even though the antioxidants are incorporated. There were some origins contributing to the significantly improved ageing resistance in ZDA-cured ENR referring to sulfur-cured counterpart. In sulfur-cured ENR, the network may be further crosslinked by epoxy ring ring-opening reaction which is catalyzed by the acids from the thermal decomposition of oxidized sulfides

[25]. Besides, polysulfide crosslinks is susceptible to heat/oxygen condition. As for ZDA-cured ENR, most epoxy ring had been transformed into ether crosslinks by oxa-Michael reaction and ether crosslinks were much stable than polysulfide bonds. Moreover, lack of polysulfide bonds also contributed to the excellent ageing resistance. It should be emphasized that the excellent anti-ageing resistance in ZDA-cured ENR composites is achieved without adding any additives.

### Conclusions

Highly ageing resistant ENR/silica elastomeric composites were prepared by using 2 phr of ZDA as the curing agent. The ZDA-cured ENR and ENR/silica com-

- nical, and rheological properties of polycaprolactone/epoxidized natural rubber blends. *Polymer Bulletin* 2010, **66**, 673.
- [5] Rajan, R.; Varghese, S.; George, E. K.: Kinetics of Peroxide Vulcanization of Natural Rubber. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology* 2012, **28**, 202.
- [6] Nakason, C.; Wannavilai, P.; Kaesaman, A.: Effect of vulcanization system on properties of thermoplastic vulcanizates based on epoxidized natural rubber/polypropylene blends. *Polymer Testing* 2006, **25**, 34.
- [7] Blackman, E. J.; McCall, E. B.: Relationships between the Structures of Natural Rubber Vulcanizates and Their Thermal and Oxidative Aging. *Rubber Chem Technol* 1970, **43**, 651.
- [8] Cunneen, J. I.: Oxidative Aging of Natural Rubber. *Rubber Chem Technol* 1968, **41**, 182.
- [9] Steudel, R.: Properties of sulfur-sulfur bonds. *Angewandte Chemie International Edition in English* 1975, **14**, 655.
- [10] Bangee, O.; Wilson, V.; East, G.; Holme, I.: Antioxidant-induced yellowing of textiles. *Polymer degradation and stability* 1995, **50**, 313.
- [11] Katbab, A.; Scott, G.: Mechanisms of antioxidant action: The behaviour of a bound antioxidant as an antiozonant. *Polymer Degradation and Stability* 1981, **3**, 221.
- [12] Kawasaki, Y.; Umemura, T.; Saito, M.; Momma, J.; Matsushima, Y.; Sekiguchi, H.; Matsumoto, M.; Sakemi, K.; Isama, K.; Inoue, T.: Toxicity study of a rubber antioxidant, 2-mercaptobenzimidazole, by repeated oral administration to rats. *Journal of toxicological sciences* 1998, **23**, 53.
- [13] Ikarashi, Y.; Toyoda, K.; Ohsawa, N.; Uchima, T.; Tsuchiya, T.; Kaniwa, M. A.; Sato, M.; Takahashi, M.; Nakamura, A.: Comparative studies by cell culture and in vivo implantation test on the toxicity of natural rubber latex materials. *Journal of biomedical materials research* 1992, **26**, 339.
- [14] Nising, C. F.; Brase, S.: Recent developments in the field of oxa-Michael reactions. *Chemical Society reviews* 2012, **41**, 988.
- [15] Gibas, M.; Korytkowska-Walach, A.: Polymerization of 2-hydroxyethyl acrylate and methacrylate via Michael-type addition. *Polymer Bulletin* 2003, **51**, 17.
- [16] Zaquen, N.; Wenn, B.; Ranieri, K.; Vandenberg, J.; Junkers, T.: Facile design of degradable poly( $\beta$ -thioester)s with tunable structure and functionality. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* 2014, **52**, 178.
- [17] Lin, T.; Guo, B.: Curing of Rubber via Oxa-Michael Reaction toward Significantly Increased Aging Resistance. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2013, **52**, 18123.
- [18] Guo, B.; Chen, F.; Lei, Y.; Liu, X.; Wan, J.; Jia, D.: Styrene-butadiene rubber/halloysite nanotubes nanocomposites modified by sorbic acid. *Applied Surface Science* 2009, **255**, 7329.
- [19] Flory, P. J.; Rehner, J.: Statistical Mechanics of Cross-Linked Polymer Networks II. Swelling. *The Journal of Chemical Physics* 1943, **11**, 521.
- [20] Flory, P. J.: Statistical Mechanics of Swelling of Network Structures. *The Journal of Chemical Physics* 1950, **18**, 108.
- [21] Nabil, H.; Ismail, H.; Azura, A. R.: Recycled Polyethylene Terephthalate Filled Natural Rubber Compounds: Effects of Filler Loading and Types of Matrix. *Journal of Elastomers and Plastics* 2011, **43**, 429.
- [22] Hong, Y.-M.; Shen, Z.-L.; Hu, X.-Q.; Mo, W.-M.; He, X.-F.; Hu, B.-X.; Sun, N.: Acid-catalyzed intramolecular oxa-Michael addition reactions under solvent-free and microwave irradiation conditions. *Arkivoc* 2009, **14**, 146.
- [23] Paterson, I.; Berrisford, D. J.: Meso epoxides in asymmetric synthesis: enantioselective opening by nucleophiles in the presence of chiral Lewis acids. *Angewandte Chemie International Edition in English* 1992, **31**, 1179.
- [24] Parker, R. E.; Isaacs, N. S.: Mechanisms Of Epoxide Reactions. *Chemical Reviews* 1959, **59**, 737.
- [25] Gelling, I.; Morrison, N.: Sulfur vulcanization and oxidative aging of epoxidized natural rubber. *Rubber Chem Technol* 1985, **58**, 243.

### Acknowledgments

The authors acknowledge financial support from the National Natural Science Foundation of China (Nos. 51222301, 51473050, and 51333003), Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (No. 20130172110001), and Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 2014ZG0001).

Our professional journal for the rubber industry has gained international acclaim for its **distinctive editorial philosophy**. Authors from all corners of the globe keep **KGK's** readers abreast of latest developments and technology trends. **Top quality information** and in-depth editorial.



Image: mattilda/fotolia.com

**SUBSCRIBE NOW:**  
Tel.: +49 8191 125-777  
E-Mail: [leserservice@huethig.de](mailto:leserservice@huethig.de)  
Rate/year: € 290.09

 **Hühthig**  
successful media for experts

Hühthig GmbH  
Im Weiher 10  
D-69121 Heidelberg

Tel. +49 6221 489-0  
Fax +49 6221 489-279  
[www.huethig.de](http://www.huethig.de)



Or use your smartphone to scan this QR code.

Rheology, wall slip · “slip-stick effect” · high pressure capillary viscometry · coating · rubber extrusion

The aim of this study is to investigate the flow behavior of rubber compounds as a function of the coating and temperature of the flow channel of the capillary. For this purpose, a high-pressure capillary viscometer with a heated slot capillary is used to generate the pressure profile of rubber mixtures of different Mooney viscosities at various shear rates. Working with the flow curves generated, the slip ratio, which is influenced by flow anomalies such as wall slip and slip-stick effects, is determined relative to total volume flow. The results show that in the case of the flow channel geometry employed here, it is mainly the uncoated reference capillary that exhibits the highest slip ratio, regardless of the viscosity of the rubber mixture.

**Einfluss der Fließkanalbeschichtung des Hochdruckkapillarviskosimeters (HKV) auf die Ausbildung des Wandgleitens von Kautschukmischungen**

Rheologie · Wandgleiten · Slip-Stick · HKV · Beschichtung · Kautschuk-Extrusion

Ziel dieser Studie ist es, das Strömungsverhalten von Kautschukmischungen in Abhängigkeit von der Beschichtung und Temperatur des Fließkanals zu untersuchen. Dazu wird ein Hochdruckkapillarviskosimeter (HKV) mit einer beheizbaren Schlitzkapillare eingesetzt und das Druckprofil von Kautschukmischungen unterschiedlicher Mooney-Viskositäten bei verschiedenen Schergeschwindigkeiten bestimmt. Anhand der generierten Fließkurven, wird der von Fließanomalien wie dem Wandgleiten und „Slip-Stick“-Effekten beeinflusste Gleitanteil bezogen auf den Gesamtvolumenstrom bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass überwiegend die unbeschichtete Referenz-Kapillare unabhängig von der Viskosität der Kautschukmischung bei der hier eingesetzten Fließkanalgeometrie den höchsten Gleitanteil aufweist.

Figures and Tables:  
By a kind approval of the authors.

# Influence of the flow Channel Coating of the high Pressure capillary Viscometer on the Formation of Wall slip Effects in the Case of Rubber Compounds

## Introduction

The flow behavior of rubber compounds is often influenced by the occurrence of flow anomalies like wall slip or the slip-stick effect [1, 2, 3]. Literature on the topic frequently refers to the attainment of a critical wall shear stress at which point a steady flow process crosses over into an unsteady flow and wall slip commences [4, 5]. In point of fact, it was, however, possible to demonstrate the occurrence of considerable slip ratios in the steady flow range as well [6]. For the rubber processing industry, knowledge as to a rubber compound's flow behavior — in particular its wall slip — are of crucial importance, specifically when it's a matter of boosting throughput in extrusion processes [7]. The screw coatings used as protection against wear and tear and as a means of extending service life have an impact on a rubber compound's flow behavior and exhibit known flow anomalies depending on the compound formula and the process parameters selected. Current research projects are looking into whether it is possible to exploit the formation of the wall slip effect to such an extent that it works to minimize the additional thermal stress occurring in conjunction with an increase in screw revolution, thereby upping process throughput without compromising the required material properties [7]. The test results presented in this study highlight the influence on the formation of wall slip effects exerted by various flow channel coatings used in slot capillaries in high-pressure capillary viscometers. The results thus serve as the basis for selecting relevant functional screw coatings for production. The coatings examined here have proven themselves in industry and are used specifically in extrusion processes as protection against wear. In addition, use is made of coatings known in other sectors of industry — chassis construction, for example — or used on milling equipment.

## Theoretical context

There are a number of procedures for detecting and measuring the wall slip behavior of various rubber types [9-17]. These were discussed at length in [6]. What's more, an alternative approach was already presented and discussed in [6]; it is taken up here below.

Back in 1931, Mooney [9] demonstrated that under conditions of wall slip, volume flow in a capillary breaks down into a slip ratio (slip volume flow) and a shear ratio (pressure volume flow) (see Figure 1):

$$\dot{V} = \dot{V}_{gl} + \dot{V}_s \quad \text{Eq. 1}$$

It is also possible to derive this relationship applying the basic equation of motion and the continuity equation with the

## Authors

**Benjamin Klie, Edmund Haberstroh, Ulrich Giese, Hannover, Sebastian Brockhaus, Volker Schöppner, Paderborn**

Corresponding Authors:  
Benjamin Klie; Ulrich Giese  
Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e. V.  
Eupener Str. 33  
D-30519 Hannover  
Benjamin.Klie@DIKautschuk.de  
Ulrich.Giese@DIKautschuk.de  
Phone: +49 (0)511/842010

boundary conditions of wall slip (along the wall, a velocity  $v_{gl}$  prevails). Wall slip is shown to have no influence on the velocity profile of the pressure flow. The slip rate thus enters into the equation in the form of a velocity increasing block (plug) flow. The wall shear stress and the shear rate are therefore independent of the wall slip rate. The slip rate can then be derived from equation 1:

$$v_{gl} = \frac{\dot{V}}{BH} - \frac{nH}{2(1+2n)} \cdot \left(\frac{\tau}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Eq. 2}$$

Here, B, H and L are the geometric dimensions of the capillary, n and K the power law parameters (flow exponent and consistency factor),  $v_{gl}$  the wall slip rate, and  $\tau$  the respective wall shear stress. Under conditions of wall slip, it is not possible, however to use the high-pressure capillary viscometer to unambiguously determine the flow law parameters n and K. This is due to the erroneous ratio of volume flow to measured pressure loss under conditions of wall slip and wall adhesion. The additional slip volume flow ratio makes for an increase in total volume flow, while the pressure drop remains constant. If a constant volume flow is analogously specified, as is the case in high-pressure capillary viscometry, the pressure loss measured under conditions of wall slip will be too low.

$$\frac{\dot{V}_{\text{wall adhesion}}}{\Delta p_{\text{wall adhesion}}} < \frac{\dot{V}_{\text{wall slip}}}{\Delta p_{\text{wall slip}}} \quad \text{Eq. 3}$$

The flow law parameters can thus be correctly determined only under conditions of wall adhesion. It is nonetheless possible to estimate the true wall slip rates for materials with quasi-permanent wall slip — the case with many rubber compounds, for example. To do this, it is necessary to correct the power law parameters n and K as determined from the apparent flow curve. As Eq. 3 shows, under conditions of wall slip accompanied by constant volume flow, the pressure loss measured is too low. This means that excessively low wall shear stress is assumed. In other words, the flow curve measured is below the true flow curve. The actual K is thus larger than the K value measured under conditions of wall slip. What is more, the material is assumed to have greater structural viscosity because of the wall slip. The actual n is greater than the n value deter-

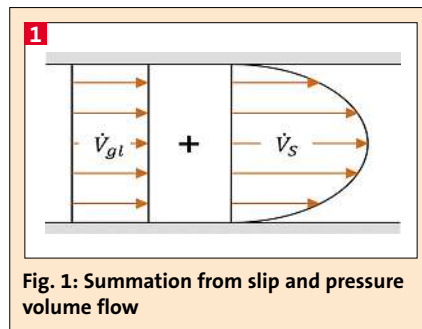


Fig. 1: Summation from slip and pressure volume flow

mined from the apparent flow curves. Figure 2 illustrates this.

It is now possible to estimate the true wall slip rate by treating the wall slip rate as a function of n and K. Qualitatively this yields the relationship between flow velocity and the flow law parameters n and K, as depicted in Figure 3.

An increase in n and K results in an upward shift in the wall slip rate ranges. This implies that with the flow law parameters measured, the computed slip rate might be too low but never too high. With the data obtained from high-pressure capillary viscometer analyses, it is therefore possible to compute a minimal slip rate that exists, in any case, as a function of wall shear stress and geome-

try. From the foregoing, it also follows that the presence of critical wall shear stress does not mean that wall adhesion will be present either before or after this stress is attained. What the subsequent results do demonstrate is that the rubber compounds analyzed exhibit permanent slip despite the presence of critical wall shear stress, albeit in varying degrees.

With the methods presented here, it is additionally possible to analyze the impact of different surfaces and coatings on the wall slip behavior of different polymers. To guarantee comparability, the advisable approach is to observe the respective slip ratios and not the absolute slip rates. These correspond to slip volume flow relative to total volume flow.

The influence of the die material and the die surface is a controversial topic of discussion in the relevant technical literature, albeit mainly in relation to thermoplastics. Hegler and Mennig [13] do not see any influence on PVC's wall slip behavior either from the material used (steel, brass and aluminum) or the surface roughness. Tordella [18] reports much the same for HDPE. In the case of LLDPE, Person and Denn [19] and Chen [20] found the die material to have an

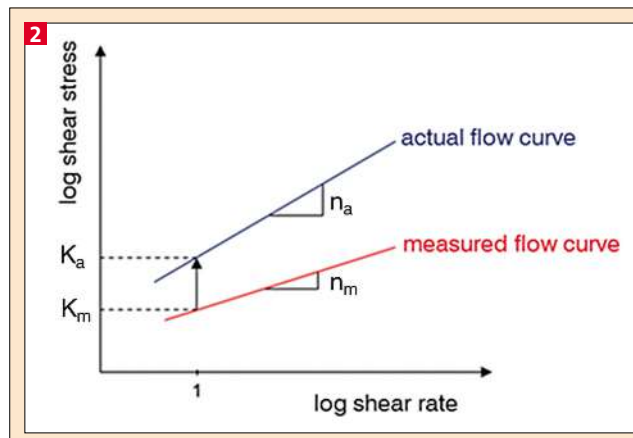


Fig. 2: Estimation of the power parameters n and K

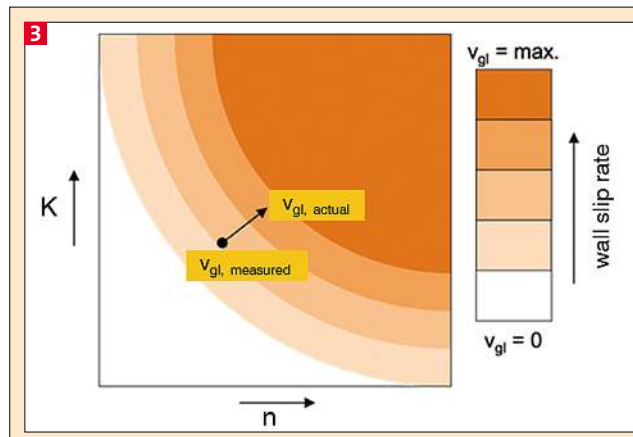


Fig. 3: Qualitative change in wall slip rate as a function of n and K



impact on rheological behavior, with the highest slip rates obtained with stainless steel. Others — Friesenbichler [21] or Chauffoureaux [15], for example — used profiled dies to suppress the wall slip effect and to obtain the pure shear ratio for determination of flow properties.

### Experimental analyses

#### Raw materials and compound formulas

EPDM- and SBR-based formulas similar to those employed in actual practice were used for analysis of the wall slip performance of polymer melts. A model EPDM formula is additionally used that has a much higher viscosity than those actually used in practice. The aim is to manufacture for the test runs rubber compounds covering the greatest possible viscosity range. The reason for this is that alongside temperature, it is a compounds viscosity that is particularly responsible for the polymers chain mobility, thereby influencing the orientation of the chains in the direction of flow and affecting the formation of wall slip effects. The formu-

1 EPDM formula	
Compound components	phr
EPDM (EP G 5450)	100
Carbon black (N 550)	70
Carbon black (N 772)	40
Paraff. mineral oil (Sunpar 2280)	70
Stearic acid (Edenor ST 4 A)	1
ZnO (Rotsiegel)	5
<b>Total</b>	<b>286</b>

2 SBR formula	
Compound ingredients	phr
E-SBR 1500	100
Carbon black (N 347)	50
TDAE (Vivatec 500)	5
IPPD	1,5
Light protection and antiozonant (Antilux 654)	1
Stearic acid (Edenor ST 4 A)	4
ZnO (Rotsiegel)	2,5
<b>Total</b>	<b>164</b>

3 SBR formula	
Compound ingredients	phr
EPDM (Keltan 2450)	100
Silicic acid (Ultrasil VN 3 GR)	50
<b>Total</b>	<b>150</b>

las dispense, moreover, with the admixture of a crosslinking system, as the dwell time required in the high-pressure capillary viscometer hopper reservoir to give the rubber compound a homogeneous melt temperature would result in incipient crosslinking of the compound during processing.

The formula on the basis of EPDM, „EP G 5450“, is ethylene-propylene rubber with an ethylene content of 52% and an ethylidene-norbornene content (ENB), as third monomer component, of 4.3% (Lanxess AG). Mooney viscosity ML (1+4) at 125°C is 46 MU. The fillers used are „Corax N 550“, with an STSA of 39 m<sup>2</sup>/g and an OAN of 121 ml/100 g, in combination with „Corax N 772“, with an STSA of 30 m<sup>2</sup>/g and an OAN of 65 ml/100g (Orion Engineered Carbons). „Sunpar 2280“ (Sunoco) paraffinic mineral oil is used as plasticizer. Table 1 shows the complete composition of the compound formula.

The SBR formula consists of an emulsion SBR, „Buna SB 1500“ (Styron synthetic rubber), with a styrene content of 23.5% and a Mooney viscosity ML (1+4) of 50 MU at 100°C. The filler used is „Corax N 347“, with an STSA of 83 m<sup>2</sup>/g and an OAN of 124 ml/100 g (Orion Engineered Carbons). „Vivatec 500“ (Hansen & Rosenthal KG) mineral oil is used as plasticizer. Other formula additives are „Antilux 654“ (Rhein Chemie Rheinau GmbH), a light protecting wax and antiozonant, and „Vulkanox 4010 NA/LG“ (Bayer AG), an anti-aging agent. Both formulas make use of „Edenor ST 4 A“ (Emery Oleochemicals GmbH) stearic acid and type zinc oxide (Rotsiegel, Grillo-Werke AG). Table 2 shows the complete composition of the compound formula.

The raw polymer used for the model formula is EPDM „Keltan 2450“ ethylene-propylene rubber (Lanxess AG), with

ethylidene-norbornene (ENB) as termomer. The ethylene content is 48%, the ENB content 4.1% and Mooney viscosity ML (1+4) 28 MU at 125°C. The filler used is a conventional silica, „Ultrasil VN 3 GR“, with a CTAB specific surface area of 160 m<sup>2</sup>/g and a BET of 175 m<sup>2</sup>/g (Evonik Industries AG). Table 3 shows the composition of the compound formula.

#### Mixing process

A one-phase process was selected for compounding. For this, use was made of a GK 5 E kneading machine (Werner & Pfleiderer) with intermeshing rotors and a filling degree of 70% (SBR and Model EPDM formula) or 80% (EPDM formula). For the two compounds in practical use, the rotors operated at a speed of 60 rpm and the rotors, mixing chamber and the drop door were tempered to 60°C. In the case of the model EPDM formula, the rotors operated at a speed of 40 rpm and tempering was to 40°C.

#### Characterization/Methods Applied

##### Mooney Viscosity

A viscometer (Monsanto „MV 2000 E“) was used to determine the viscosity of the rubber compound to Mooney ML (1+4) at 100°C. The measurement was effected with the large rotor at a preheating time of 1 min and lasted 4 min.

##### Rheological properties by means of high-pressure capillary viscometry

The rheological properties are characterized on a high-pressure capillary viscometer (Rheograph 6000, Göttfert) (Figure 4). For this purpose, the rubber compound is pressed from the hopper reservoir through the capillary by means of a hydraulically powered ram at a defined feeding rate. This study employs a slot capillary measuring 96 x 18 x 1.2 mm

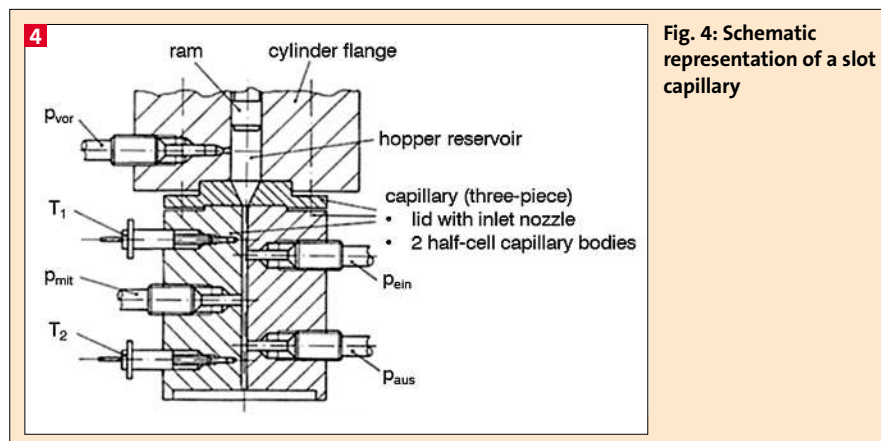


Fig. 4: Schematic representation of a slot capillary

(length x width x depth). Both the hopper reservoir and the capillary can be heated, meaning that constant melt temperatures can be assumed prior to the process. In the test runs, tempering fluctuates between 80 and 140°C and is controlled by means of the integrated PT 100 temperature sensors (T1, T2). Three pressure sensors (pein, pmit, paus), located at equidistant intervals along the capillary, are integrated into the flow channel for the purpose of determining the standard pressure vertical to the direction of flow. Determination of the linear pressure loss along the length of the capillary makes it possible to subsequently directly determine the prevailing wall shear stress at the respective shear rate. This eliminates any need for a Bagley correction of any measurement error due to the loss of inlet pressure. The selected range of shear rates realized is between 0.1 s<sup>-1</sup> and 200 s<sup>-1</sup>, with the height of the attainable shear rate limited solely by the feeding speed setting, with consideration given to the hopper reservoirs' maximum filling volume. The flow curve so generated allows for identification of the occurrence of any critical wall shear stress, from which point on the steady flow process would become unsteady. The flow law parameters n und K are subsequently determined from the steady flow range; the apparent wall slip rates and the nondimensional slip ratio of the total volume flow are computed.

For the examination of the influence

**4** Coatings selected for the flow channel of the slot capillary (96 x 18 x 1,2 mm)

Coating (technology)	Structure	Mean Roughness depth Rz [µm]	Coating thickness [µm]	Hardness [HV]
Reference (uncoated)	Hardened nitrided steel 1.8550	1 µm	-	950
CrNmod (PVD)	CrN	1 µm	2 - 7 µm	2300
DYLYN-DLC (PACVD)	a-C:H:Si:O + a-C:H	1 µm	1 - 3 µm	3000
Hard chrome (reactor chrome plating)	Hemispherical chrome particles	5 - 6 µm	25 - 35 µm	1100

of coating on the formation of the wall slip effect, an uncoated capillary served as reference alongside coatings widely used in extrusion and frequently employed as screw coatings (CrNmod and DLC, both from Oerlikon Metaplas GmbH). Additionally selected was a hard chrome coating (Topocrom GmbH) with hemispherical chrome particles arranged in a closed structure on its surface. The intended effect of this is to minimize the contact area between melt and channel wall with the aim of reducing material entanglement and boosting wall slip. Table 4 summarizes some of the key properties of the coatings used.

Prior to coating, all flow canals are coarsely polished to a mean roughness depth of Rz = 1 µm. This is done to exclude the possibility of any impact on the wall slip effect due to material entanglement attributable to undefined surface roughness. The subsequent thin-film coating

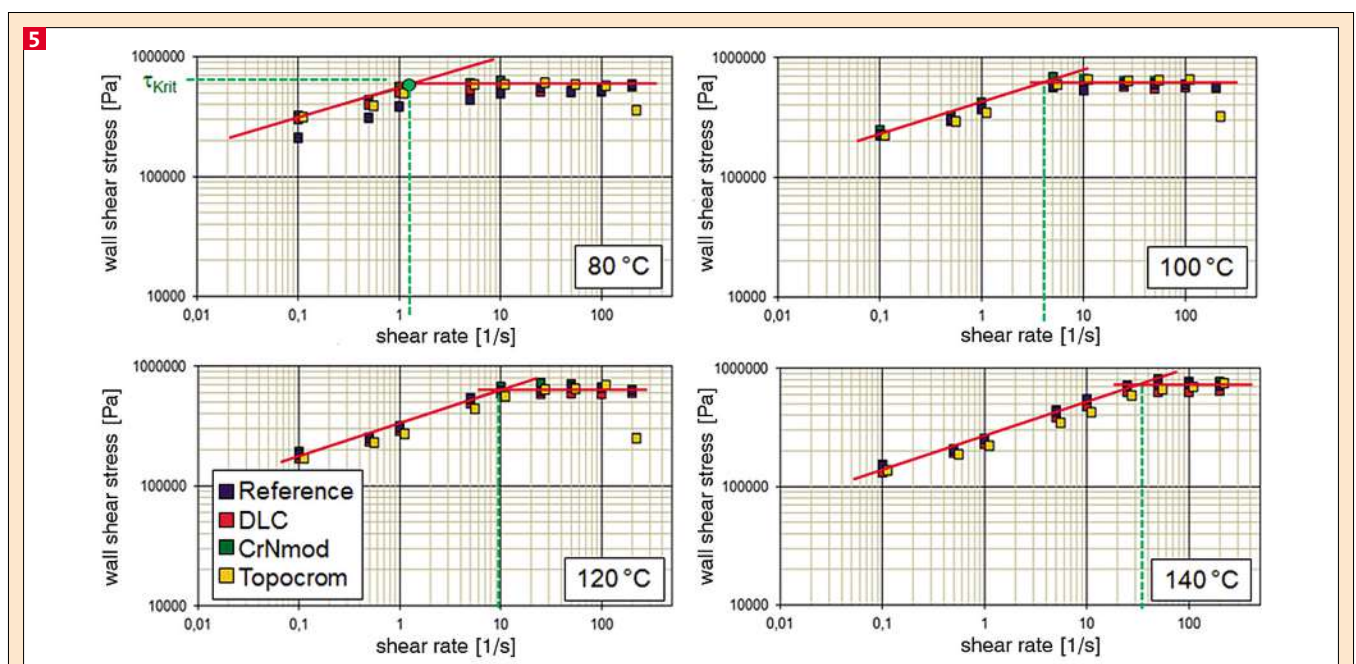
serves solely to map the surface structure without altering the mean roughness depth; the flow channel's crevice geometries are thus retained. It is not possible to realize this state solely by applying the hemispherical chrome-particle structure. Alongside a mean roughness depth increased by a factor of 5-6, the much greater layer thickness also gives rise to an altered flow channel geometry. This must be taken into account in computing the characteristic rheological values.

### Results

The results of the Mooney viscosity measurements show that the formulas selected cover the broad viscosity range desired.

### Measurement results for high-viscosity model EPDM formula

Evaluation of the rheological properties commences with analysis of the flow



**Fig. 5:** Flow curves of the high-viscous model EPDM formula (Mooney viscosity: 140 MU)

curves as determined using the high-pressure capillary viscometer. The flow curves of the highly viscose model EPDM formula (Figure 5) clearly show the occurrence of critical wall shear stress upwards of which the flow law parameters for steady flows are no longer valid. In the low-shear-rate range, a linear relationship

is seen between shear rate and wall shear stress.

Once, however, the increase in shear rate pushes the pressure level beyond a limit value, the unsteady flow range is attained, in which case further flow anomalies — slip-stick effects, for example — come into play in addition to the

wall slip effect. Raising the temperature setting for the capillary, and thus the melt temperature as well, boosts the mobility of the polymer chains and simplifies the orientation in the direction of flow. This has the effect that the critical wall shear stress is not attained until shear rate attains a higher level. For the

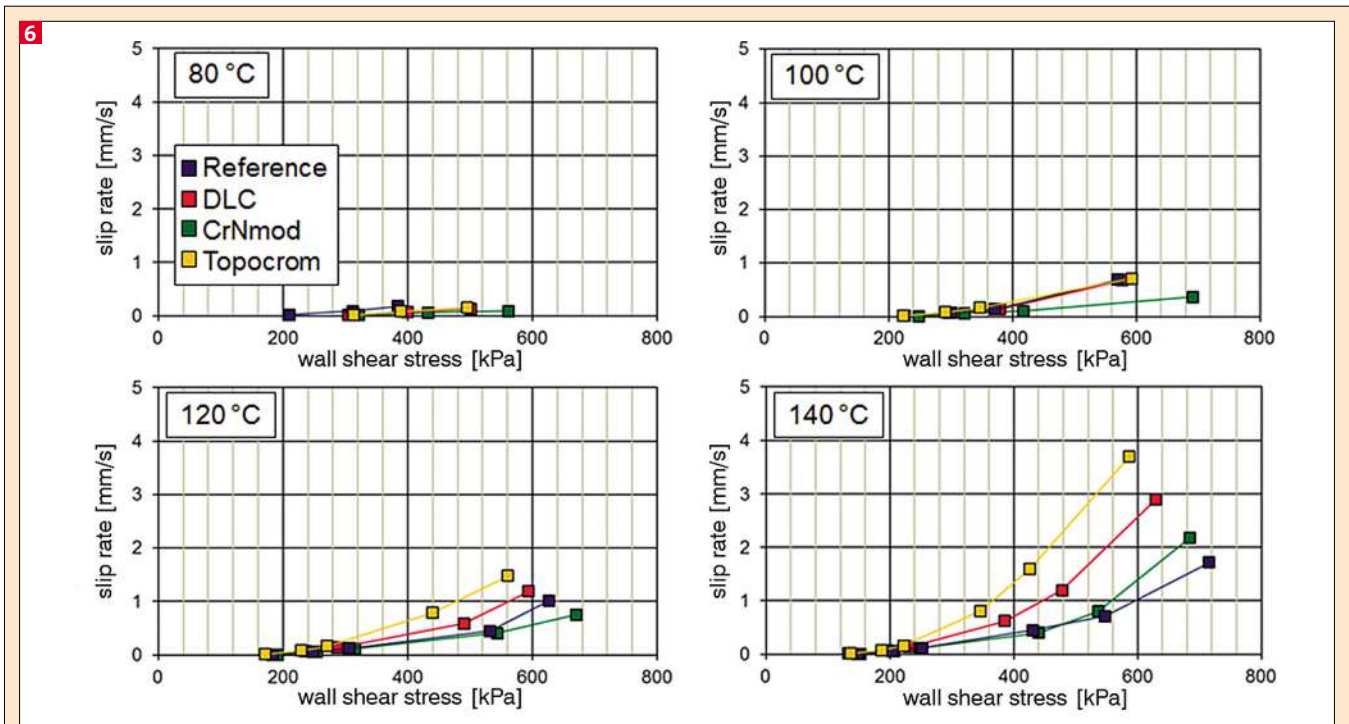


Fig. 6: Wall slip rate in the steady flow range for the model EPDM formula.

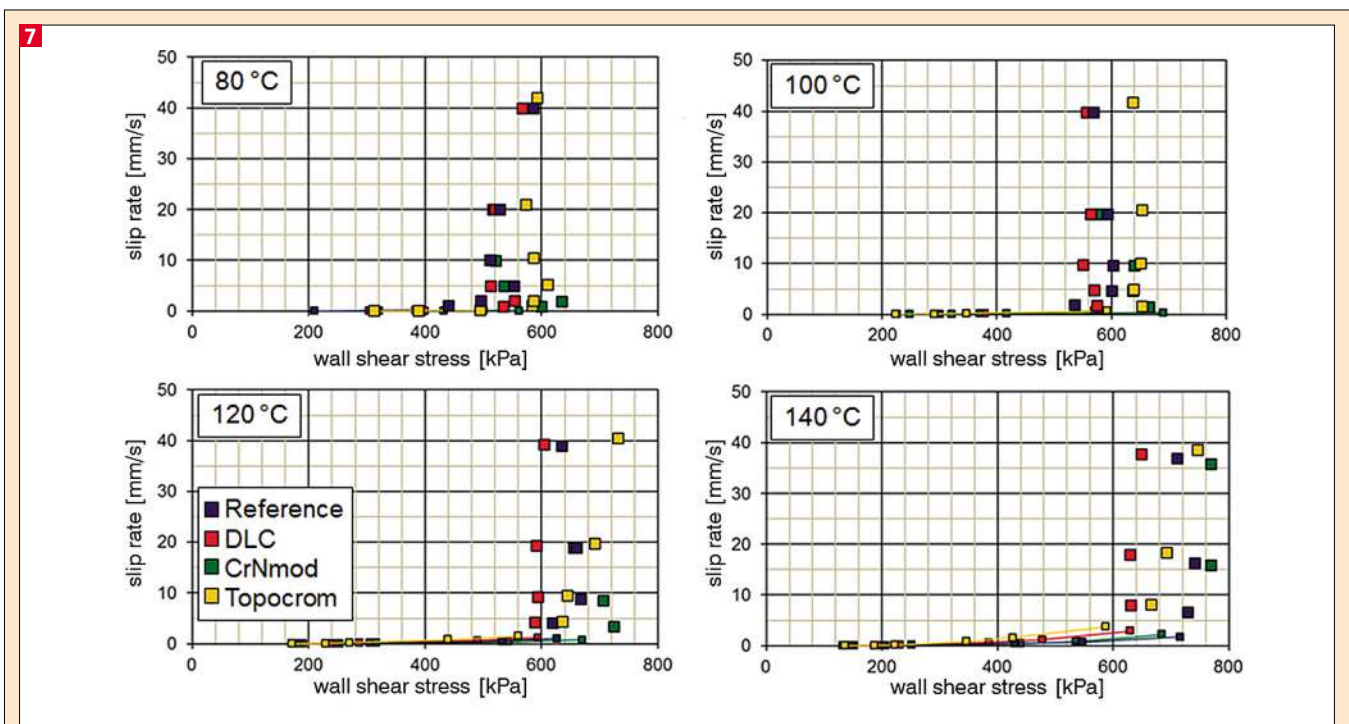


Fig. 7: Wall slip rate in steady and unsteady flow ranges for the model EPDM formula.

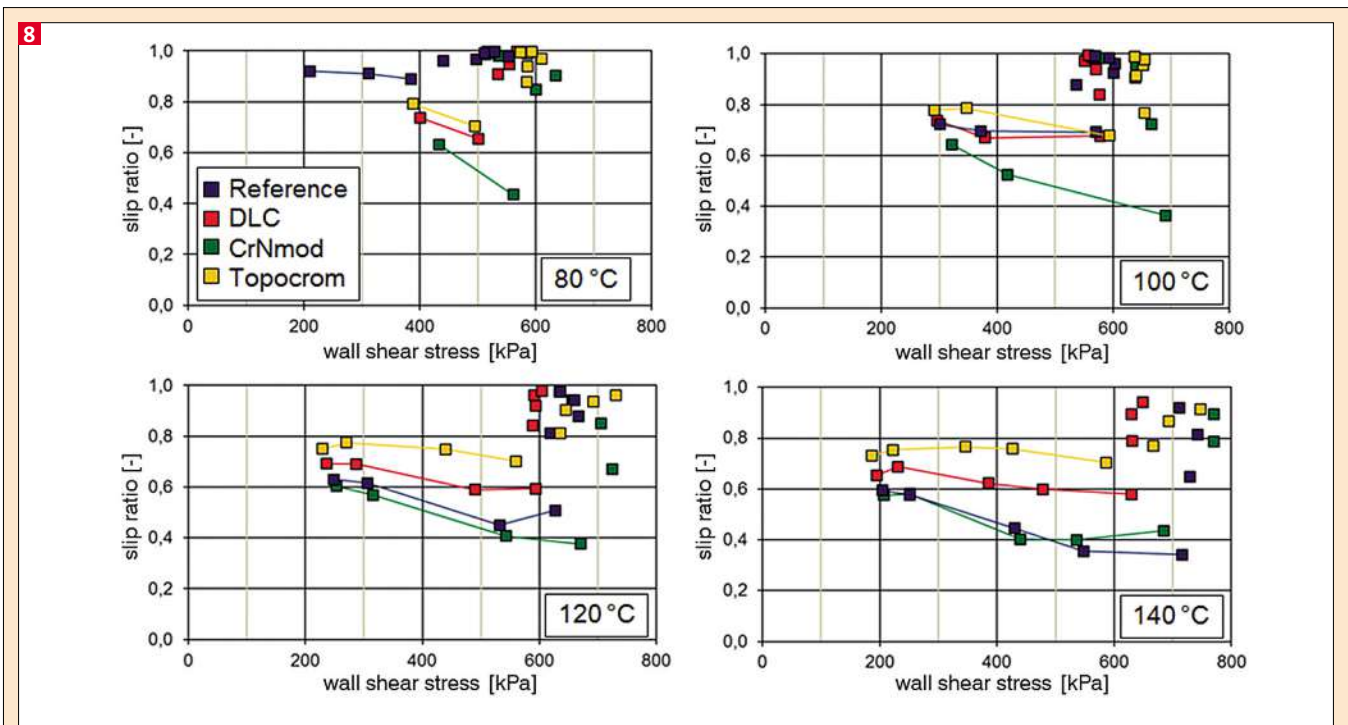


Fig. 8: Nondimensional slip ratio as a function of flow channel coating (model EPDM formula)

shear rate range under study, this means a larger number of measured values in the steady flow range than would be the case with lower capillary or melt temperatures.

The flow law parameters  $n$  and  $K$  derive from the flow curve in the steady flow range and provide the basis for computation of the wall slip rate. In accordance with the aforementioned methods, the highest power law parameters at the same temperature are selected. Figure 6 shows the wall slip rate determined as a function of capillary temperature and flow channel coating and the related wall shear stress values in the steady flow range. As temperatures rise, the initial occurrence of wall slip effects shifts to lower wall shear stress levels.

In comparison with the other coatings, the coating composed of chrome hemispheres exhibits — at constant shear rates — lower wall shear stress with higher wall slip rates.

If the diagram is expanded to take in the computed wall slip rates in the unsteady flow range (where the point of critical wall shear stress has been exceeded), the occurrence of inconstant flow profiles as a result of slip-stick effects or other flow anomalies gives rise to an erratic rise in the wall slip rates recorded (Figure 7). This phenomenon occurs independent of the coating or temperature selected for the flow channel.

#### 5 Mooney viscosities for rubber compounds

Compound	Mooney Viscosity [MU]
EPDM compound	60 MU
SBR compound	80 MU
Model EPDM compound	140 MU

Knowledge of the wall slip rate now allows for determination of the nondimensional slip ratio that, as part of total volume flow, was not subject to any shear and is thus the cause of the wall slip effect.

Figure 8 shows the slip ratios determined as a function of flow channel coating. Independent of the capillary or melt temperature, the CrNmod coat exhibits the lowest slip ratio for the shear rate range under study. At low capillary tempering of 80 °C, the uncoated reference capillary shows the largest ratio of block flow. For temperatures upwards of 100 °C, on the other hand, the Topocrom coating exhibits the highest slip ratio and thus the most marked wall slip effect. Independent of the coating selected and the capillary temperature, the slip ratios relative to total flow volume increase erratically once the point of critical wall shear stress has been exceeded and, in the main, attain ratios of over 90 % in the unsteady flow range.

Figure 9 shows the uncoated reference capillary to have the most marked impact

on the formation of wall slip effects as a function of the capillary temperature setting. The reference capillary's wall-slip-induced ratio of block flow relative to total flow volume drops as temperature increases (from 80 °C to 140 °C), with viscosity weakening as a result by more than 50%. Independent of temperature, the Topocrom coating exhibits constant slip ratios, while both DLC and CrNmod coating exhibit constant slip ratios that tend towards decreasing wall shear stress, however, as the temperature increases. In the steady flow range, the mean slip ratio of the Topocrom coating relative to total flow volume is highest in this case, with values of between 70% and 80%. The reason for this is the surface structure. Thanks to the hemispherical arrangement of the chrome particles, material entanglement is avoided and the highly viscous compound slips more or less unhindered across the surface.

#### Measured results for the SBR formula

Observation of the flow curves determined for the SBR formula, taking into ac-

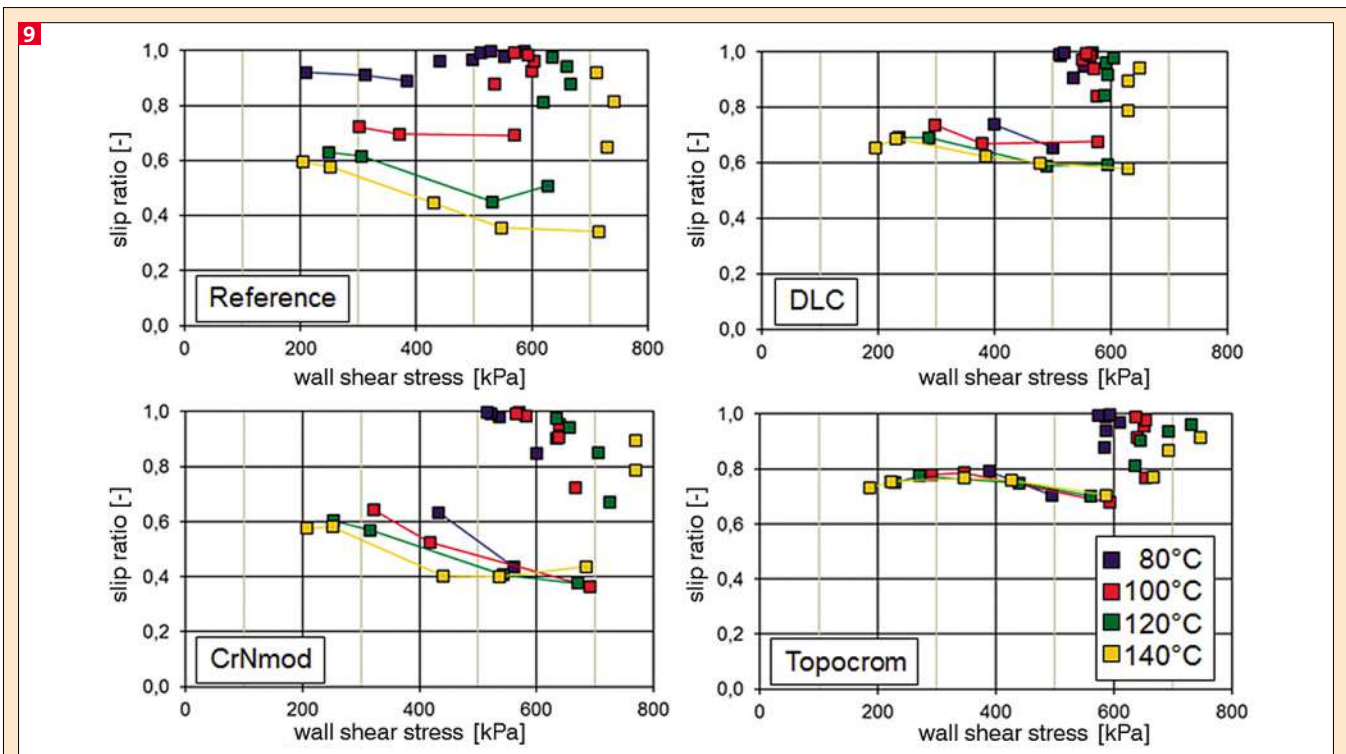


Fig. 9: Nondimensional slip ratios as a function of capillary temperature (model EPDM formula).

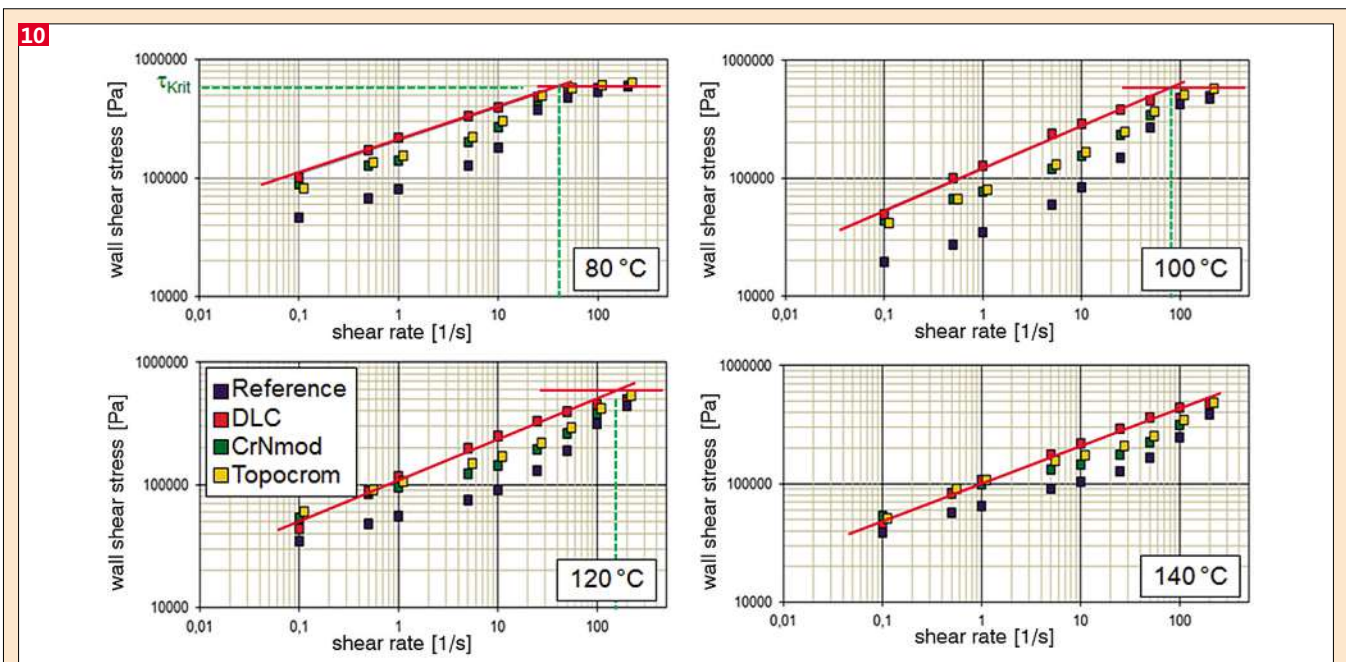


Fig. 10: Flow curves for the SBR formula (Mooney viscosity: 80 MU).

count the greatly reduced compound viscosity vis-à-vis the model EPDM formula, brings to light marked differences in flow behavior (Figure 10). The improved flow and processing behavior manifests itself in the generally lower level of wall shear stress generated, essentially thanks to which there is a reduction in the consistency factor K. The consequence of this is

that the steady flow range is much more marked already at a temperature of 80 °C. This is due to the fact that the point of critical wall shear stress is not reached until higher shear rates prevail.

If tempering of the flow channel is raised to as much as 140 °C, the wall shear stress detected remains below the point of critical wall shear stress, al-

lowing for the assumption of steady flows over the entire shear rate range.

The reduction in compound viscosity, and the improved processing behavior, results in the occurrence of higher slip rates at higher shear velocities in the steady flow range when constant wall shear stress prevails (Figure 11). Independent of temperature, the uncoated refe-

reference capillary exhibits the highest slip rates, while the DLC coat shows the lowest slip rates. On the other hand, the CrNmod coat and the coating with chrome hemispheres exhibit comparable measured results. Here as well, it is possible to detect an erratic increase in slip rate once the point of critical wall shear stress has been crossed.

For the nondimensional slip ratios relative to total volume flow, this results in the flow-channel-coating-dependent relationship shown in Figure 12. Particularly striking here is the grossly divergent curve for DLC coating, which exhibits markedly lower slip ratios than the other coatings across the entire shear rate range regardless of capillary tem-

perature. The CrNmod coating, the coating with chrome hemispheres and the uncoated reference capillary show generally similar curves, with the uncoated reference capillary exhibiting the highest slip ratios in combination with low wall shear stress values. For this formula as well, it is possible to detect an increase in slip ratios once the point

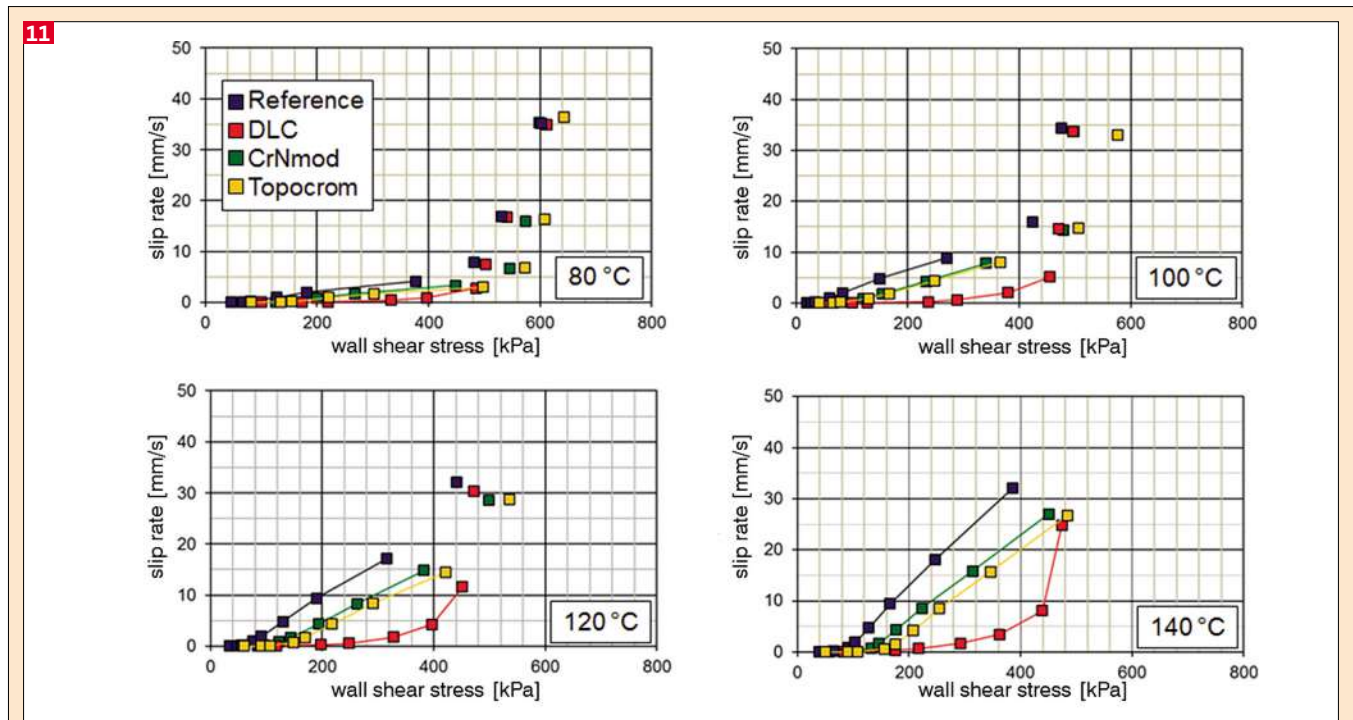


Fig. 11: Wall slip rates in steady and unsteady flow ranges for the SBR formula.

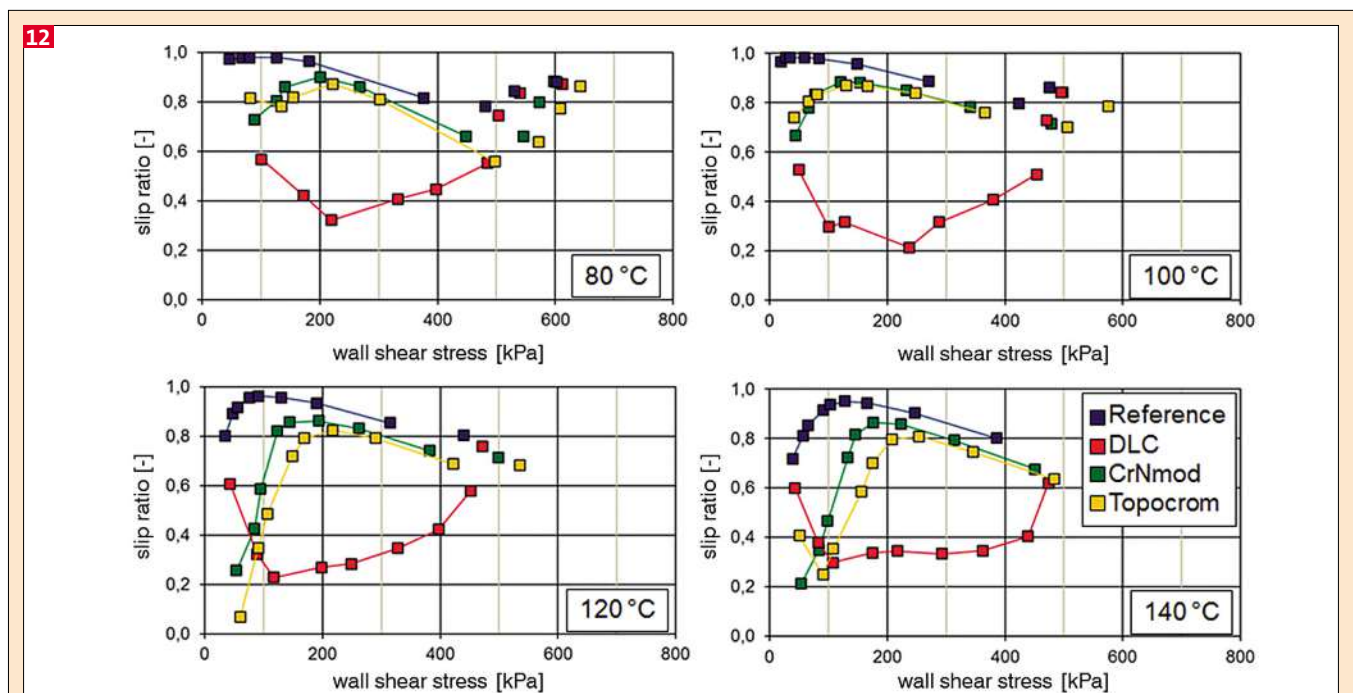


Fig. 12: Nondimensional slip ratios as a function of flow channel coating (SBR).

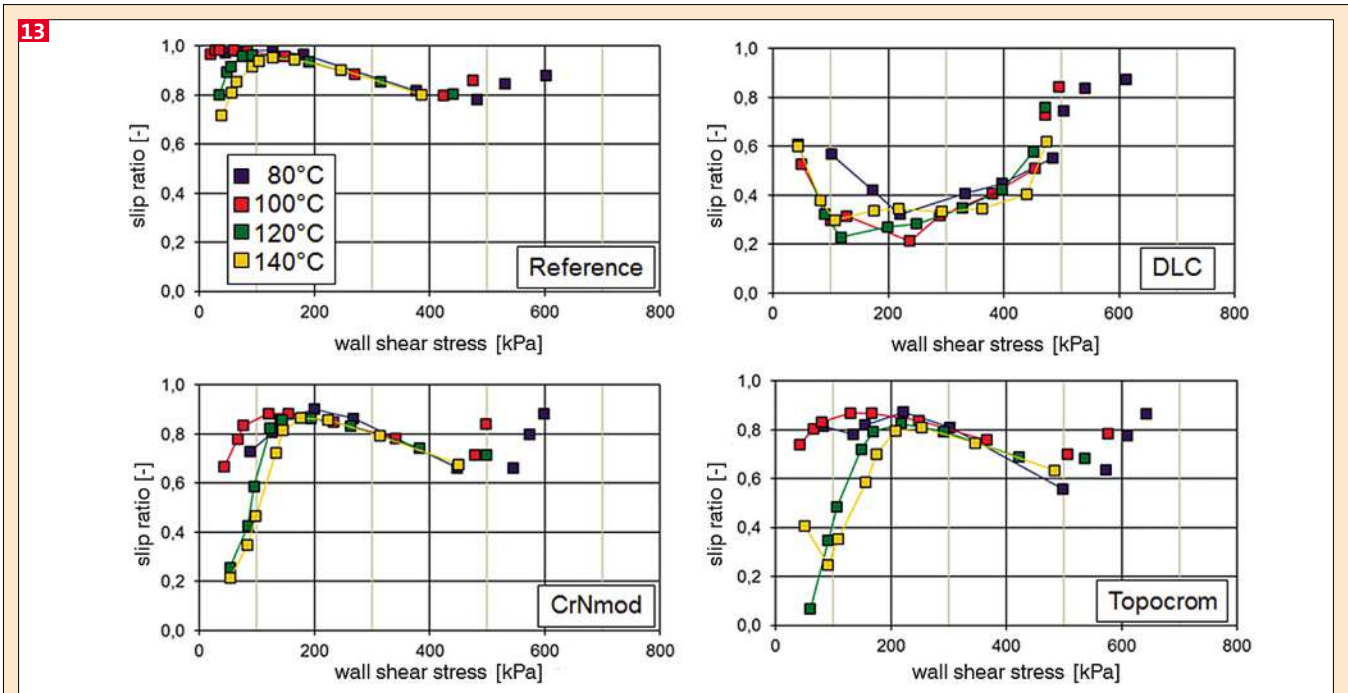


Fig. 13: Nondimensional slip ratios as a function of capillary temperature (SBR).

of critical wall shear stress has been exceeded.

None of the coatings give evidence of markedly temperature-dependent wall slip effects, as can be seen when the non-dimensional slip ratio is shown as a function of capillary tempering (Figure 13).

**Measured results for the EPDM formula**  
The flow curves plotted for the EPDM

formula (of relevance in actual practice), with a compound viscosity a further 25 % lower than for the SBR formula, yield the relationship shown in Figure 14. The lower compound viscosity results in an additional drop in wall shear stress values and a further reduction in the consistency factor K. The steady flow range shapes up in a manner comparable to the SBR formula. If the presence of a cri-

tical wall shear stress is hypothesized for this formula as well, this critical wall shear stress is never attained in the case of the EPDM formula across the entire shear rate range under study. Only at lower capillary temperatures (80°C and 100°C) can the measured values for wall shear stress be found to possibly plateau at higher shear rates, approaching, in other words, the point of critical wall

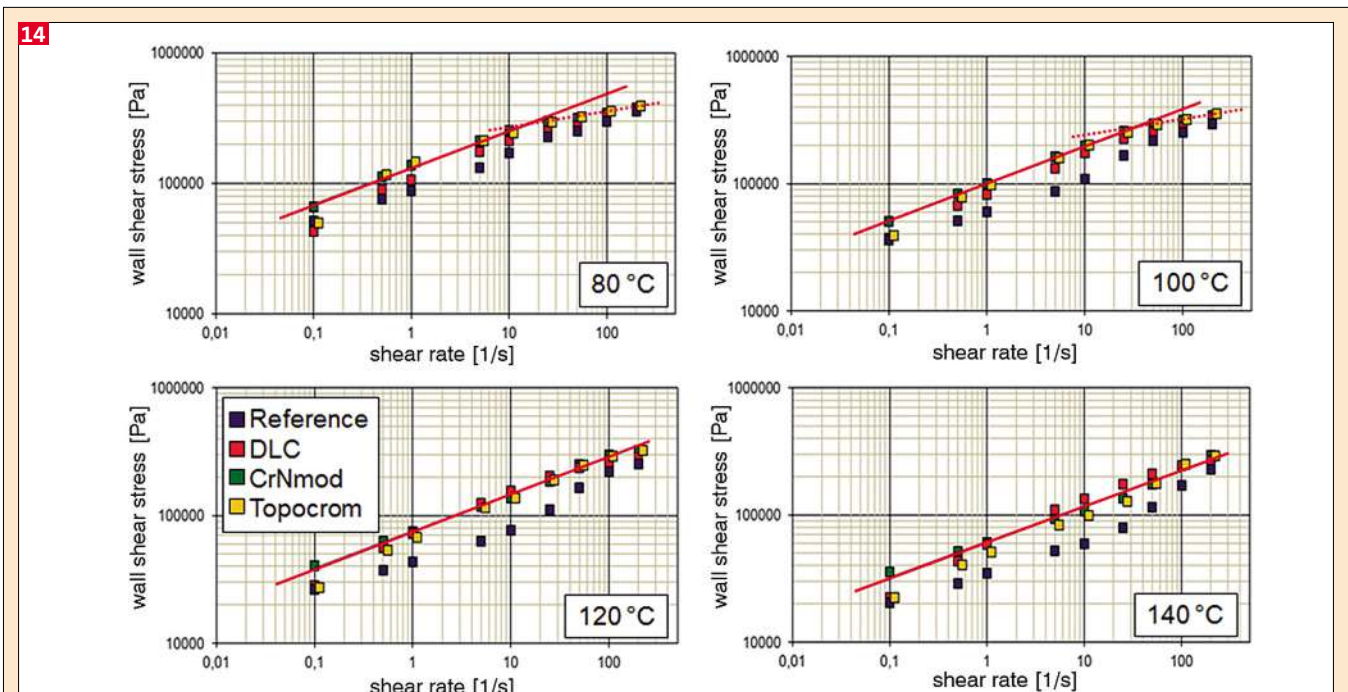


Fig. 14: Flow curves for the EPDM formula (Mooney viscosity: 60 MU).

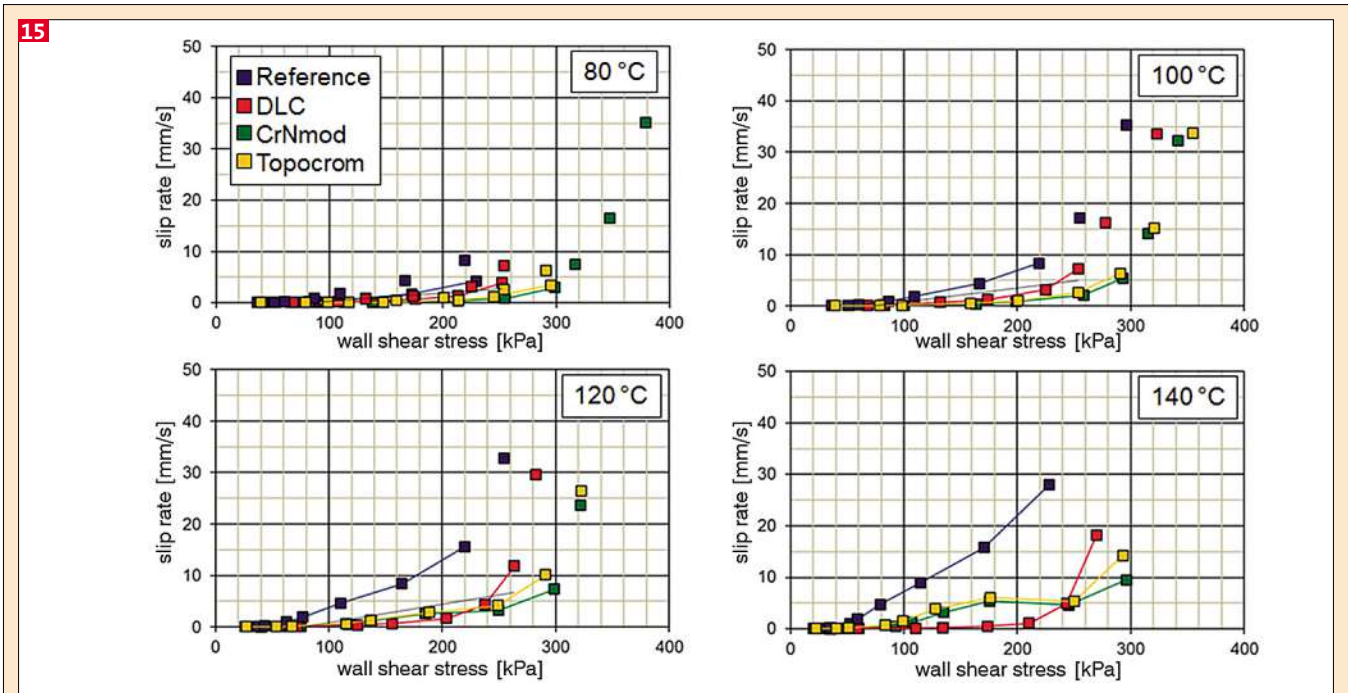


Fig. 15: Wall slip rates in steady and unsteady flow ranges for the EPDM formula.

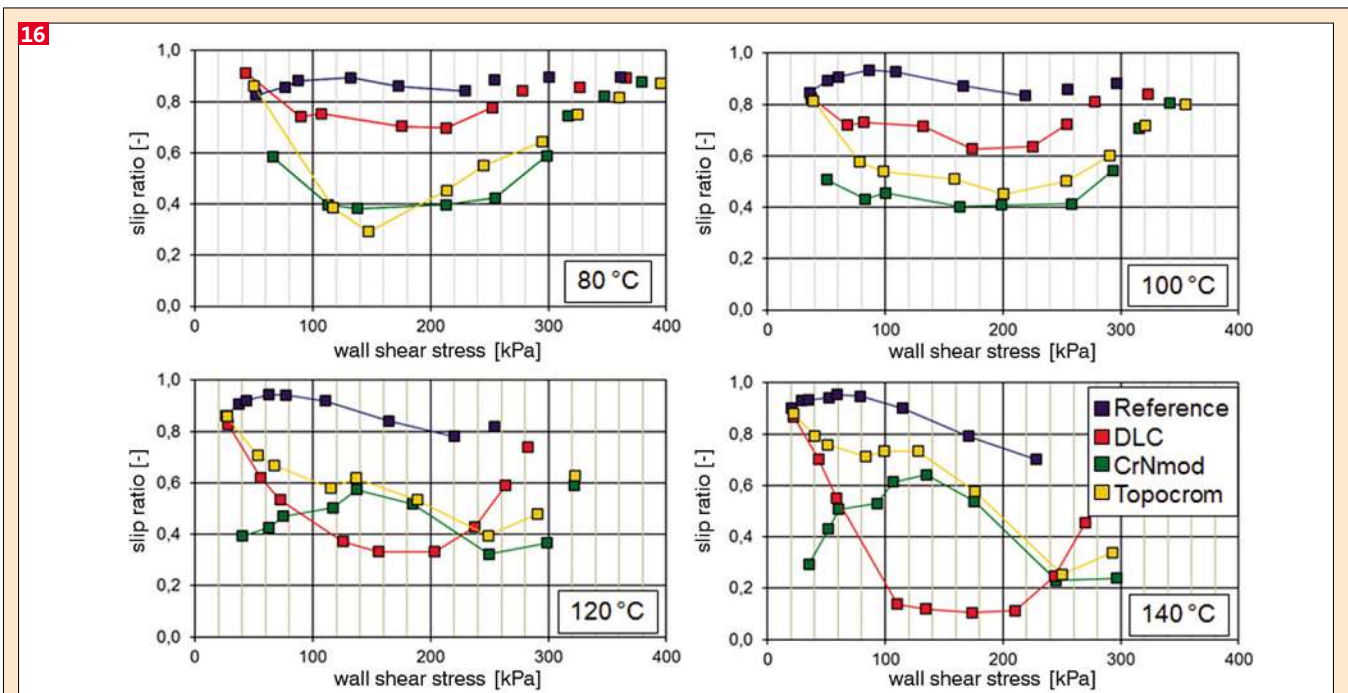


Fig. 16: Nondimensional slip ratios as a function of flow channel coating (EPDM).

shear stress. Even here, however, a range is not reached upwards of which further flow anomalies — slip-stick effects, for example — occur.

The values computed for wall slip rate are comparable with those obtained in the case of the SBR formula, although they show a shift to lower wall shear stress due to the reduced compound viscosity. For the EPDM formula as well, the

uncoated reference capillary shows the highest slip rates (Figure 15).

Figure 16 shows the dependency of flow channel coating for the nondimensional slip ratios relative to total volume flow in the case of the EPDM formula. As was the case with the SBR formula, CrNmod and the coating with chrome hemispheres exhibit similar dependencies with respect to the formation of the wall

slip effect across the shear rate range under study and also with respect to dependency on the capillary temperature setting. Again in the case of the EPDM formula, the DLC coating in particular exhibits curve characteristics at variance with those of the other coatings. With increasing capillary temperature, the slip ratios make up an ever-smaller share of total volume flow, attaining in some ca-



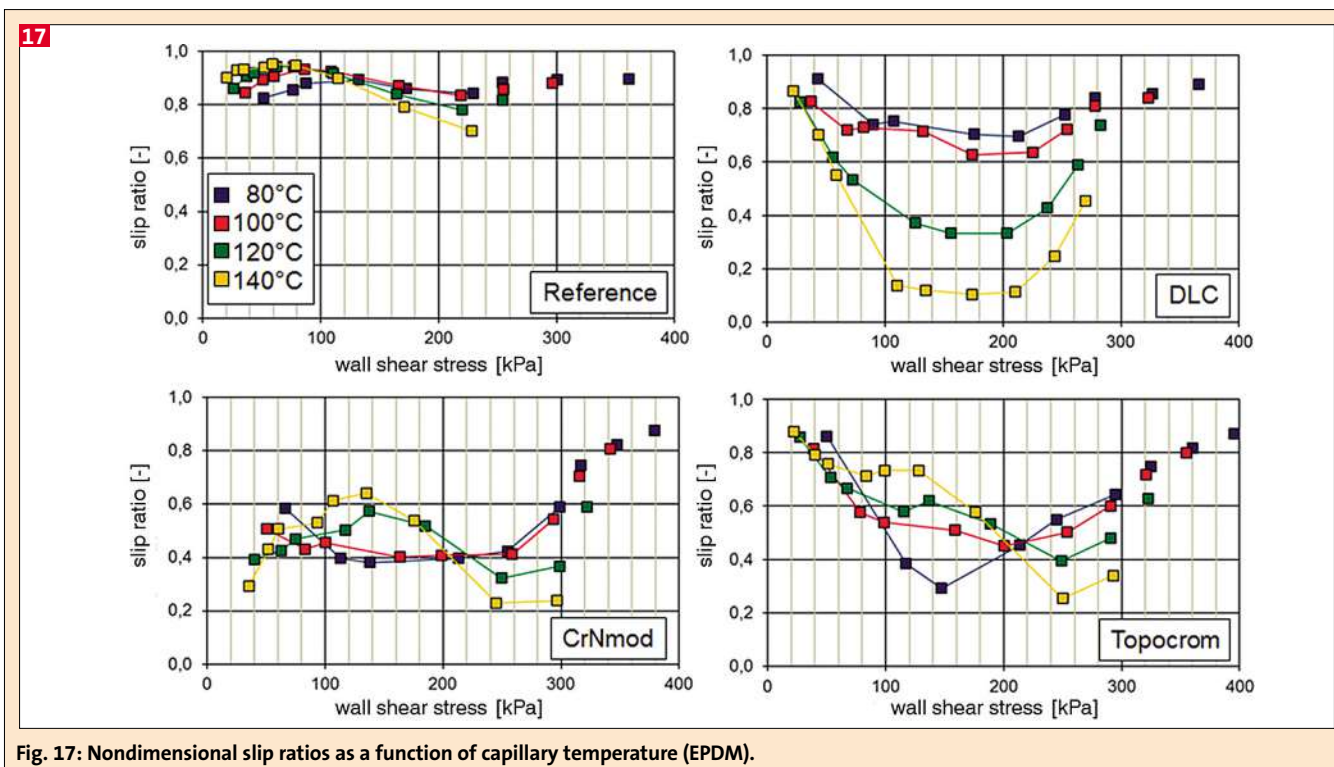


Fig. 17: Nondimensional slip ratios as a function of capillary temperature (EPDM).

ses levels as low as roughly 10% (DLC coating at 140°C).

This relationship becomes obvious when the nondimensional slip ratios of the EPDM formula are plotted as a function of capillary temperature (Figure 17). At higher capillary temperatures, the slip ratio of the DLC coat drops by roughly 85% over a certain shear rate range. The uncoated reference capillary, on the other hand, exhibits slip ratios of over 80% independent of capillary temperature. As was already the case with the SBR formula, the curves for CrNmod and the coating with chrome hemispheres show similarly pronounced slip ratios as a function of capillary temperature.

For the three formulas, Figure 18 shows the averaged slip rates across the shear rate range under study as a function of capillary temperature. The CrNmod coating clearly illustrates the relationship between capillary temperature and computed slip rates: the lower the capillary temperature, or the higher the compound viscosity, the greater the computed slip rates. This results in the material being pressed through the capillary faster, flowing over the given cavities in the flow channel surface structure and reducing the eventuality of material entanglements with the surface. The upshot of this is higher melt throughput. The same applies when higher compound viscosity is caused by a combination of formula and

mixing process. Accordingly, an improvement in flow and/or processing behavior is obtained by increasing the capillary temperature, which has the effect of reducing compound viscosity. The slip rates detected are lower and the range of steady flow process more pronounced.

Figure 19 shows the mean slip ratios resulting for the slip rates determined. As is clear from the example of the CrNmod coating, the nondimensional slip ratio decreases with increasing capillary temperature. This result coincides with the statements made on the computed slip rates. As a rule, the more flowable the material is, the lower the ratio for out-and-out block flow vis-à-vis total volume flow.

On the other hand, no clear relationship is evident if the compound viscosity obtained as a result of formula and mixing process is considered as additional criterion. The averaged slip ratios make clear that the higher slip rate computed with increasing compound viscosity does not necessarily result in a higher slip ratio relative to total volume flow — in other words, does not lead directly to a larger ratio of block flow. Analysis of the measured results of the DLC coating contributes to a further clarification of the matter. If the slip ratios of the EPDM formula are compared with those of the SBR formula, much lower slip ratios relative to total volume flow are evident despite the high-

er compound viscosity. The composition of the formula or the material concentration of certain compound ingredients might be the cause of this divergent behavior, as these have been shown to have an effect on the formation of the wall slip effect [8]. It is thus difficult to arrive at a more precise comparison of the measured results with regard to formula-induced compound viscosity. It was possible to demonstrate, however, that analysis of the slip ratios is worthwhile and that observation of slip rate alone does not provide a sufficient basis for characterization of the intensity of the wall slip effect.

In closing it should be noted that in industrial extrusion applications, a coated screw is generally used. It serves as a means of minimizing wear and thus of upping the cost efficiency of production as well. The use of an uncoated screw, which the rheological studies have found to show the highest slip ratio, is thus not a reasonable option in real-life practice. To up mass throughput in the extrusion process by means of targeted exploitation of slip at the screw end, it is therefore recommended that both the CrNmod coat as well as the chrome hemisphere structure be used, as both likewise exhibit considerable slip ratios.

#### Summary remarks

The aim of this study was an investigation into the impact of different capillary

coatings on the rheological behavior of rubber compounds and the occurrence of wall slip effects. An evaluation was made taking into account dependency on process parameters, i.e. capillary temperature, shear rate and compound viscosity. The measured results of rheological tes-

ting with the high-pressure capillary viscometer have identified capillary temperature, flow channel coating and compound viscosity as parameters having a profound impact on the formation of wall slip effects. In this regard, it is generally to be noted that all formulas studied exhibit

a considerable slip ratio relative to total volume flow already in the steady flow range. This ratio rises further once the point of critical wall shear stress has been crossed. The uncoated reference capillary exhibits the highest slip ratios, higher than those for the coated flow channels.

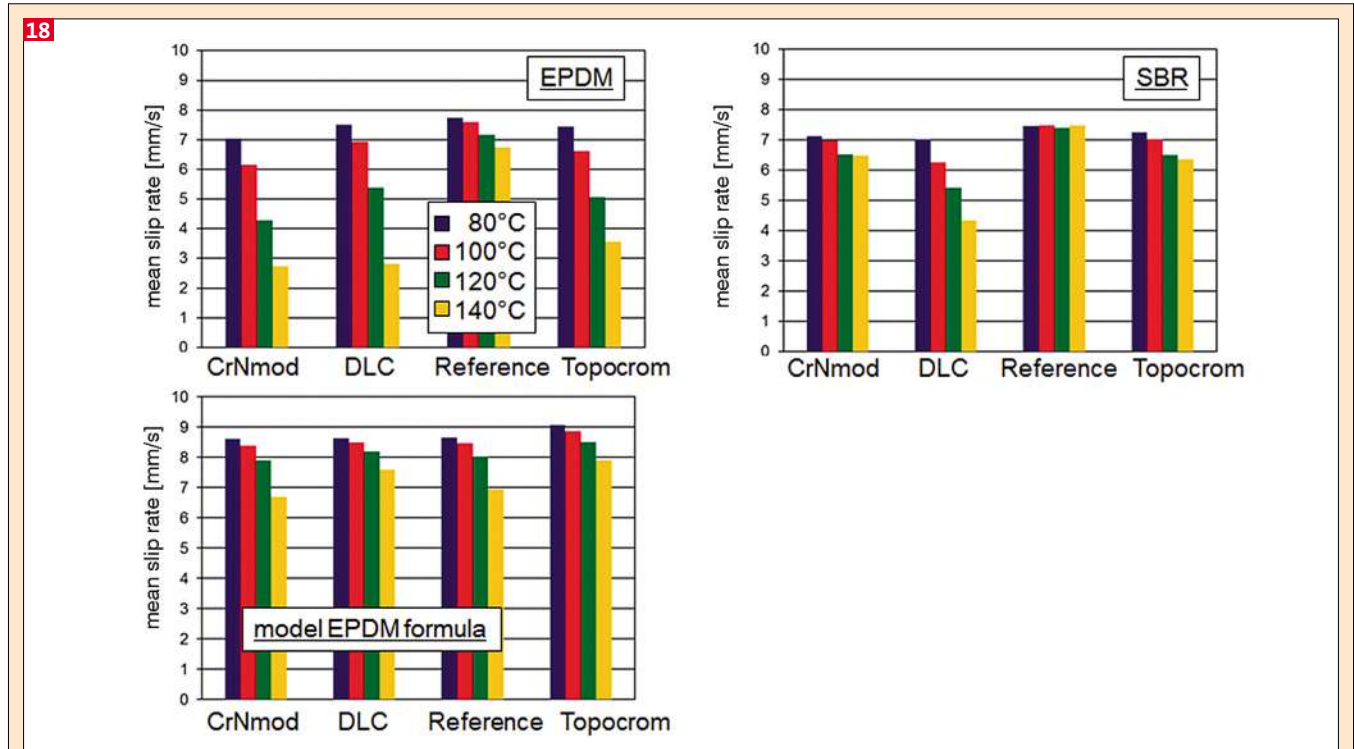


Fig. 18: Mean slip rates across the shear rate range under study.

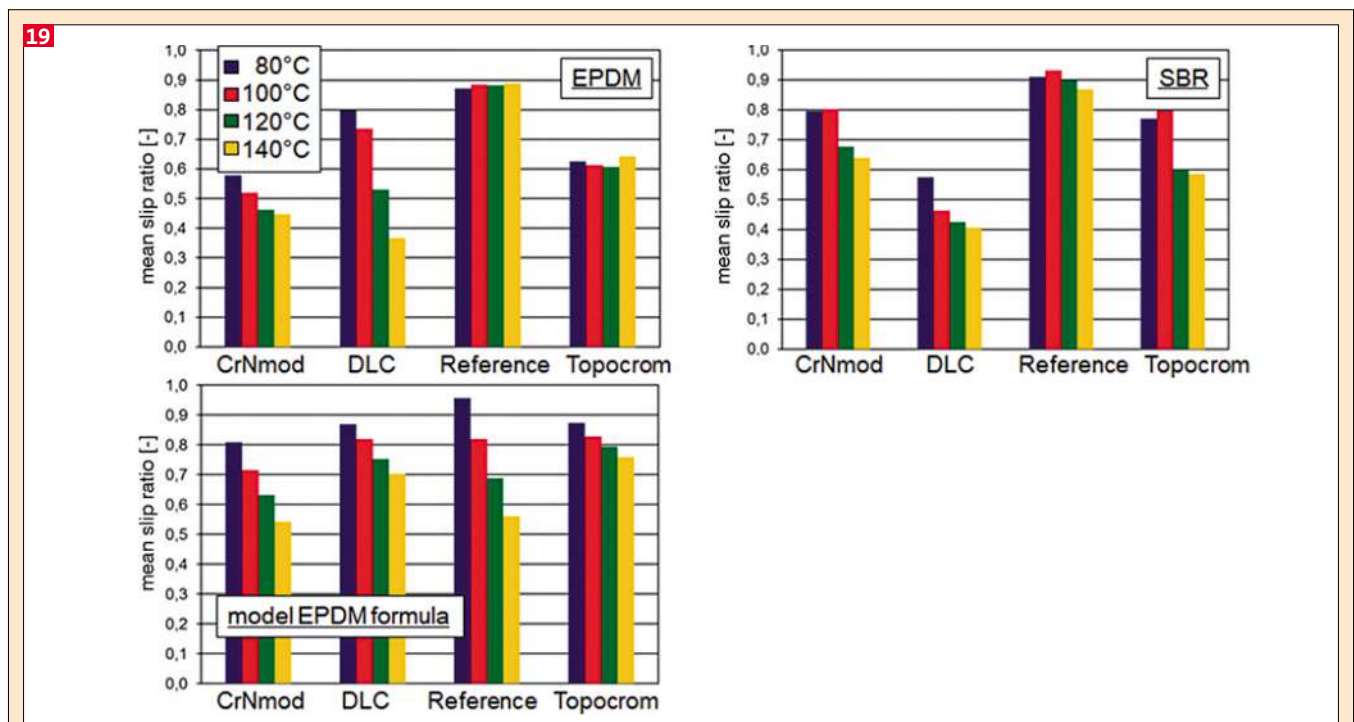


Fig. 19: Mean slip ratios for the shear rate range under study.

Both for the EPDM and the SBR formula, the DLC coating shows the lowest slip ratios relative to total volume flow in the steady flow range. In the case of the highly viscose model EPDM formula, on the other hand, the CrNmod coating exhibits the lowest slip ratios.

The flow law parameters allow for a particularly clear identification of the impact of compound viscosity on the generation of wall shear stress. The higher the viscosity, the greater the wall shear stress detected in the shear rate range under study and the greater, therefore, the apparent consistency factor computed. The same effect is obtained by variation in capillary temperature, in which case a higher temperature lowers the compound viscosity, rendering the material more flowable and thus resulting in lower K values. On the other hand, the apparent flow exponent  $n$  (the flow curve's ascending straight-line slope as per the power law put forth by Ostwald and de Waele) is, for the most part, independent of capillary temperature. On the other hand, it is, impossible to gauge the extent to which the flow law parameters detected are influenced by the material composition of the compound formula and the concentration of certain compound ingredients. This will have to be examined separately (e.g. by means of concentration series in which a specific compound ingredient is varied in each case).

#### Acknowledgments

Our thanks are due the German Federation of Industrial Research Associations „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) and its member associations DKG and VDMA for

the financial support provided for work on GF project 17545 N, carried out with funding from the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi).

#### Bibliography

- [1] S. Wiegrefe, R. Badura, Einfluß des Wangleitverhaltens von Kautschukmischungen auf deren Verarbeitbarkeit mit Stiftextuder, KGK volume **44**; no. 10; 1991; pp. 922.
- [2] Geiger, K.; Fließ- und Wandgleitverhalten von EPDM-Kautschukmischungen; KGK volume **42**; issue 8; 1989; pp. 663.
- [3] Schramm, D.; Möglichkeiten und Grenzen einer verbesserten Prozessbeschreibung für Kautschukextruder; Dissertation Universität Paderborn; 2003.
- [4] Klüppel, M.; Badura, R.; Schuster, R.H.; Thermodynamik und Rheologie weichgemachter Nitrilkautschuke; KGK volume **45**; no. 8; 1992; pp. 614.
- [5] Möwes, M.M.; Klüppel, M.; Flow instabilities in concentrated polymer solutions and melts; KGK volume **64**; no. 4; 2011; pp. 29.
- [6] Brockhaus, S.; Klie, B.; Schöppner, V.; Giese, U.; Grundlegende Studie und alternative Methode zur Bewertung des Wandgleiteffekts bei hochviskosen Kautschukmischungen; KGK volume **67**, no. 11/12, 2014, pp. 44.
- [7] Brockhaus, S.; Klie, B.; Schöppner, V.; Giese, U.; Investigations about High-Speed rubber extrusion; talk at 11th Fall Rubber Colloquium; November 26-28, 2014; Hannover.
- [8] Jepsen, C.; Rübiger, N.; Untersuchungen zum Wandgleitverhalten von Kautschukmischungen an einem Hochdruck-Kapillar-Viskosimeter; KGK volume **41**; no. 4; 1988; pp. 342.
- [9] Mooney, M.; Explicit Formulas for Slip and Fluidity, Journal of Rheology (1931), 210222.
- [10] Geiger, K.; Rheologische Charakterisierung von EPDM-Kautschukmischungen mittels Kapillarrheometer-Systemen, Kautschuk Gummi Kunststoffe **42** (1989), pp. 273.
- [11] Benbow, J.J.; Lamb, P.; New Aspects of Melt Fracture, SPE Trans. **3** (1963), pp. 7.
- [12] Mennig, G.; Visuelle Untersuchungen zum Wandgleitverhalten hochpolymerer Schmelzen, Rheol. Acta **15** (1976), pp. 199.
- [13] Hegler, R.-P.; Mennig, G.; Untersuchungen zum Wandgleiten von plastifiziertem Hart-PVC, Rheol. Acta **20** (1981), pp. 553.
- [14] Li, S.; Migler, K.B.; Hobbie, E.K.; Kramer, H.; Han, C.C.; Amis, E.J.; Light-Scattering Photometer with Optical Microscope for the In-Line Study of Polymer Extrusion, Journal of Polymer Science **35** (1997), pp. 2935.
- [15] Chauffoureaux, J.C.; Dehennau, C.; van Rijckevorsel, J.; Flow and Thermal Stability of Rigid PVC, J. Rheol. **23** (1979).
- [16] Schwetz, M.; Merten, A.; Münstedt, H.; Fluoropolymer vermeidet Fließinstabilitäten, Kunststoffe **91** (2001), pp. 86.
- [17] Atwood, B.T.; Schowalter, W.R.; Measurements of slip at the wall during flow of high-density polyethylene through a rectangular conduit, Rheol. Acta **28** (1989), pp. 134.
- [18] Tordella, J.P.; Unstable Flow of Molten Polymers-A second Site of Melt Fracture, Applied Polymer Science **7** (1963), pp. 215.
- [19] Person, T.J.; Denn, M.M.; The effect of die materials and pressure-dependent slip on the extrusion of linear low, Journal of Rheology **41** (1997), pp. 249.
- [20] Chen, Y.; Kalyon, D.M.; Bayramli, E.; Effects of Surface Roughness and the Chemical Structure of Materials of Construction on Wall Slip Behavior of Linear Low Density of Polyethylene in Capillary Flow, Journal of Applied Polymer Science **50** (1992), pp. 1169.
- [21] Friesenbichler, W.; Ermittlung von rheologischen Kenndaten für wandgleitende PVC-U Mischungen und ihre Anwendung für Düsenberechnungen beim Extrudieren, Dissertation, Universität Leoben (1992).

## HBCD-freie Flammschutzlösung für XPS-Platten

**FLAMMSCHUTZ** Das neue Flammschutzmittel auf Polymerbasis Luvobatch PS FR 0339 von Lehmann & Voss, Hamburg, eignet sich zur Herstellung von flammgeschützten XPS-Platten ohne den Einsatz von HBCD. „Durch die gute Stabilisierung ist es uns gelungen, den Abbau

des Flammschutzsystems und somit die Verfärbung des Endproduktes auf ein Minimum zu reduzieren“, charakterisiert Flammschutz-Entwicklerin Marion Henkens das neue Produkt. Tests am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, Pfingsttal, zeigten für das Flamm-

schutzmittel eine sehr gute Verträglichkeit mit üblichen XPS-Komponenten. Insbesondere der für Dämmanwendungen wichtige Wert der Wärmeleitfähigkeit der Platten bleibt nahezu unverändert. Umfangreiche Tests am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, Pfingst-

tal, zeigten für das Flammschutzmittel eine sehr gute Verträglichkeit mit üblichen XPS-Komponenten. Insbesondere der für Dämmanwendungen.

#### KONTAKT

Lehmann & Voss, Hamburg,  
Tel. +49 40 441970

## 1 Million Lastwechsel ohne Verschleiß



Bild: Trelleborg

O-Ring-Dichtung aus dem neuen TPU.

**DICHTUNGEN** Der von Trelleborg, Stuttgart, entwickelte Werkstoff Zurcon Z13 ist ein 60-Shore-D-hartes, thermoplastisches Polyurethan, das sehr gut mechanische und elastische Materialeigenschaften kombiniert. Dadurch eignet er sich beson-

ders für höhere Drücke und hohe Temperaturen, ohne dass er seine Festigkeit verliert. In zahlreichen Vergleichstests hat das Unternehmen die Eigenschaften einer neuen Kolbendichtung aus Z13 in Bezug auf Dichtwirkung und Verschleiß bei Anwendungen mit HFC-Druckfluiden dokumentiert. Die schwer entflammaren HFC-Druckfluide haben aufgrund Ihrer Zusammensetzung aus Wasser und Glykol eine deutlich höhere Zündtemperatur und sind deshalb für Anwendungen mit erhöhter Brandgefahr geeignet oder sogar vorgeschrieben. Der veränderliche Wasseranteil von etwa 35 bis 50 Prozent beeinflusst in den HFC-Fluiden jedoch die tribologi-

schon Eigenschaften. Zum Einsatz kommen die Fluide bei Temperaturen von -20 °C bis 60 °C in Anwendungen wie Bergbau, Gießereitechnik sowie im Bereich Offshore in der Öl- und Gasindustrie. Bei Anwendungen mit hoher Dynamik wie beispielsweise Kompensationszylinder wird durch lange Hübe das Dichtsystem hoch beansprucht. Das stellt hohe Anforderungen an die Verschleißfestigkeit und Maßhaltigkeit des Dichtsystems. Hier wurden nun sowohl PTFE-Werkstoffe mit verschiedenen Füllstoffen als auch Dichtungen aus Polyethylen und Polyurethan untersucht. Auf einem Verschleißprüfstand und einem Prüfstand zur Reibkraft-

messung wurden acht Dichtsysteme gleichen Designs mit einem aus Anwendungen als kritisch bekanntem HFC-Fluid ausführlischen Tests unterzogen. Die besten Ergebnisse erzielte das neue TPU. Während Dichtungen aus anderen Werkstoffgruppen schon nach 200.000 Lastwechseln einen deutlichen Verschleiß zeigten, gab es bei der neuen Dichtung bei identischer Dichtungsgeometrie auch nach einer Million Lastwechseln keinerlei Leckage und auch sonst keine Auffälligkeiten.

### KONTAKT

Trelleborg Sealing Solutions, Stuttgart, Tel. +49 711 78640

## Fühlt sich gut an und weist Schmutz ab



Bild: Kraiburg TPE

Schutzbrille mit Bügeln aus einem TPE-Compound.

**TPE** Die Schutzbrille Astrospec, ein Klassiker aus den neunziger Jahren, erscheint in neuem Design. Die Nachfolgerin ver-

bindet die ursprüngliche Linie mit weiteren Funktionen einer modernen Schutzbrille: Bügel aus Copec von Kraiburg, Wald-

kraiburg, sorgen für einen festen Sitz ohne Druckstellen sowie ein samtig-weiches Trage- und Griffgefühl. Der Werkstoff wird im 2-Komponenten-Spritzguss mit Polycarbonat verarbeitet. Ein Verfahren, das die Herstellung vereinfacht, Zykluszeiten verkürzt und zusätzliche Arbeitsschritte einspart. Das Material ist schmutzunempfindlich und hält widrigen Einflüssen des Arbeitsalltages im Außenbereich wie beispielsweise UV-Strahlung sowie Haut- und

Schmierfetten stand. Für die Gesundheit ist das Material unbedenklich: Das TPE ist Latex-, PVC- und Schwermetallfrei. Darüber hinaus lässt es sich recyceln. In der hausinternen Koloristik wird das Material genau nach Kundenwunsch eingefärbt. Präzise Einfärbmöglichkeiten und eine hohe Farbstabilität sind weitere Vorteile der TPE-Compounds.

### KONTAKT

Kraiburg TPE, Waldkraiburg, Tel. +49 8638 98100

## Macht nachgelagerte Strukturierungsschritte überflüssig

**PVC** Die in die Extrusionscompounds 1545-D40 ST von Teknor Apex, Pawtucket, USA, eingebaute Selbststrukturierungsfunktion macht nachgelagerte

Strukturierungsschritte wie beispielsweise Beschichten oder Prägen unnötig. Die Compounds können koextrudiert werden, haften gut auf Metall und ha-

ben mit Standard-PVC vergleichbare physikalische Eigenschaften. Das Unternehmen kann kundenseitig vorgegebene Farben und Glanzeigenschaften liefern, die vielen OEM-Standards entsprechen, einschließlich der verschiedenen Schwarzsattierungen, die branchenweit im Einsatz sind. Zu den empfohlenen Anwendungen zählen die Autodach-Regenrinnenformteile zwischen Dach und Karosserie, Fensterrahmen-Zierleisten zwischen der A-Säule

und der Windschutzscheibe sowie Türzierleisten. Typische Eigenschaften der Compounds sind Shore-C- und -D-Härtegrade im Bereich 60 bis 70 beziehungsweise 34 bis 44, eine spezifische Masse von 1,37 bis 1,43, eine Zugfestigkeit von 8 bis 18 MPa und eine Bruchdehnung von 150 bis 250 Prozent.

### KONTAKT

Teknor Apex International, Pawtucket, USA, Tel. :+1 401 725 8000

### Correction

**KGK** We have made a mistake in the text „Hygienic Material For Medical Applications“, KGK 6/2015, page 24. In table 2, page 26, it should be written: Norm, Unit, 0 kGy Beta radiation, 25 kGy Beta radiation, 50 kGy Beta radiation, 60 kGy Beta radiation.

## Neue Polyamide und Polyester im Programm

**DISTRIBUTION** Velox, Hamburg, ein Dienstleistungsunternehmen im Bereich der Spezialchemie präsentierte auf der Fakuma, neben einer vollständigen Palette von Hochleistungskunststoffen für technische und medizinische Anwendungen sowie aller Arten von Verpackungen, auch funktionelle Füllstoffe, Flammschutzmittel, Additive für Kunststoff und Kautschuk. Höhepunkt war

die Präsentation der Produkte von Pentac Polymer. Vor kurzem haben die beiden Unternehmen ihre Zusammenarbeit erweitert und bieten nun die Polyamide/-legierungen Pentamid und Pentalloy sowie das Polyester Pentester auf dem deutschen Markt an.

### KONTAKT

Velox, Hamburg,  
Tel. +49 40 3696880

## Allzweckweichmacher für phthalatfreie Lösungen für PVC

**ADDITIVE** Pevalen von Perstorp, Malmö, Schweden, ist ein reiner phthalatfreier PVC-Weichmacher, der ausschließlich auf aliphatischen Rohmaterialien basiert. Das Polyolester, das aus Rohmaterialien mit Lebensmittelzulassung gewonnen wird, ist nach der Reach-Verordnung registriert. Das Verfahren zur eigentlichen Zulassung von Pevalen für Lebensmittelkontakt läuft und soll 2016 abgeschlossen sein. Der Weichmacher eignet sich für eine Vielzahl unterschiedlicher Einsatzbereiche, von Textilien über Vinylbodenbeläge bis hin zu beschichteten Geweben. Er ermöglicht Weich-PVC-Formulierungen, die nicht nur weich und haltbar sind, sondern auch hochresistent gegen

Reinigungschemikalien, was ihn für Bodenbeläge in öffentlichen Gebäuden, Krankenhäusern und Wohnbereichen prädestiniert. Aufgrund seiner UV-Stabilität eignet er sich außerdem für Anwendungen, die der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Zu den weiteren Hauptanwendungen zählen Kunstleder, Schutzkleidung, Schwimmbadfolien und Kleidung bei der Weichheit und Elastizität geschätzt werden. Der Weichmacher kann auch in Plastisolen, Formmassen und Folienmaterialien eingesetzt werden.

### KONTAKT

Perstorp Holding AB, Malmö,  
Schweden, Tel. +31 164 317 011

## Faserverstärktes PET für Lebensmittelverpackungen

**PET** Rynite FG530 von Dupont, Le Grand Saconnex, Schweiz, ist ein mit 30 Prozent Glasfasern verstärktes PET, das frei von Bisphenol A ist, den geltenden US- und EU-Vorschriften für den Kontakt mit Lebensmitteln entspricht und nach den Richtlinien der Good Manufacturing Practice gefertigt wird. Es wird als Hochtemperatur-Steifigkeitsmodifikator in Lebensmit-

telverpackungen sowie als versiegelte Oberfläche für offen- und mikrowellengeeignete Nahrungsmittelbehälter eingesetzt.

### KONTAKT

Dupont International Operations  
Sarl, Le Grand-Saconnex, Schweiz  
Tel. :+41 22 717 51 11

## Außergewöhnliche mechanische Eigenschaften

**TPU** Bei der neuentwickelten Kunststoffserie Desmovit DP R CF von Geba Kunststoffcompounds, Ennigerloh, und Bayer Materialscience, Leverkusen, handelt es sich um esterbasierte, thermoplastische Polyurethane mit Carbonfaserverstärkung. Der Hightech-Kunststoff besitzt viele der guten Eigenschaften unverstärkter thermoplastischer Polyurethane und überzeugt mit einer hohen Verschleißfestigkeit und guter Beständigkeit gegen viele Öle und Fette, Heißluft und Hydrolyse. Durch seine mechanischen Werte setzt sich das TPU deutlich von den existierenden glasfaserverstärkten TPUs ab. Die Zugfestigkeit liegt je nach Verstärkungsgrad zwischen 70 und 135 MPa und beim Biegemodul werden Werte von bis zu 5.700 MPa erreicht. Durch die Kombination der Zugeigenschaften mit einer hohen Schlag- und Kerbschlagzähigkeit, ist der Werkstoff für Produkte von Bedeutung, bei denen das Abfangen von Schlägen und Stößen eine wichtige Rolle spielt. Eine weitere nennenswerte Eigenschaft ist, dass er erst ab einer Streckdehnung von 17,5 Prozent irreparabel beschädigt ist. Mit einer niedrigen Dichte und den mechanischen Werten empfiehlt sich der Einsatz für die Produktion von Protektoren sowie Schutzhüllen. Das Material verhindert

das Durchdringen von spitzen Gegenständen, absorbiert die Aufprallkraft und verringert so die noch einwirkende Restkraft. Die Verwendung ist auch für diverse Anwendungen im Sportartikelbereich als auch für den Einsatz in langlebigen Gehäusen vorstellbar. Das carbonfaserverstärkte TPU mit den anspruchsvollen mechanischen Werten ist ab einem gewissen Verstärkungsgrad auch antistatisch und eignet sich durch seine antistatischen Eigenschaften zur Verwendung in Rollen, Rädern und Gehäusen, bei denen es nicht zu elektrostatischen Entladungen kommen darf. So kommt es selbst für einen Einsatz im Bergbau oder in der chemischen Industrie sowie für industrielle Zahnräder in Frage. Aufgrund der Wärme- und Kältestabilität des Materials bietet es sich auch für den Einsatz in verschiedenen Außenanwendungen an.

### KONTAKT

Geba, Ennigerloh,  
Tel. +49 2524 9312 0

**Zahnrad-Getriebe...**

Bearbeitung aller Größen,  
Typen und Fabrikate

Instandsetzungen, Umbauten,  
Optimierungen, Sonderkonstruktionen

Fragen Sie nach unserer  
Lösung für Ihren Einsatzfall

**BRAUER**  
Maschinentechnik AG

www.brauer-getriebe.de Fon: 02871/7033, Fax: 02871/7036 Raiffeisenring 25, 46395 Bocholt

**A Rohstoffe und Compounds**

**Elastomere**



Biesterfeld Plastic GmbH  
Geschäftssegment Küttner  
Werkstraße 1  
67354 Römerberg  
Telefon: 06232/60049-0  
Telefax: 06232/60049-99  
E-Mail: kuettner@biesterfeld.com  
Internet: www.biesterfeld-plastic.com/kuettner

**Kabel- und Kautschukcompounds**



Hansestraße 68  
38112 Braunschweig  
Telefon (0531) 21024-0  
Telefax (0531) 21024-38  
Internet:  
www.condorcompounds.de



Melos GmbH

- Granules
- Cable Compounds
- Customer Solutions

Bismarckstraße 4-10  
49324 Melle [Germany]  
Phone 0 54 22 . 94 47-0  
Fax 0 54 22 . 59 81  
info@melos-gmbh.com  
www.melos-gmbh.com

**Kautschuk-Mischungen**



ARTEMIS Kautschuk- und  
Kunststoff-Technik GmbH  
Rothwiese 4  
30559 Hannover  
Telefon +49(0)511-959280  
Telefax +49(0)511-9592855  
info@artemis-kautschuk.de  
www.artemis-kautschuk.de



**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



Manfred Hoffmann GmbH & Co. KG  
Gummitechnik  
Marie-Curie-Straße 2,  
Postfach 12 29  
42477 Radevormwald  
Telefon (0 21 95) 70 73,  
Fax 4 06 97



Competence in Compounding

Heuweg 5  
06886 Lutherstadt Wittenberg  
Telefon: (03491) 659-0  
E-Mail: info@polymertechnik



Gebr. Schmidt,  
Gummiwarenfabrik,  
Postf. 19 43,  
21659 Stade/Elbe  
Telefon (0 41 41) 4035-0  
Telefax (0 41 41) 4035-12



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

Service ■ Expertise ■ Flexibility



SEC Gummimischungen GmbH  
Karl-Arnold-Straße 28  
D-73230 Kirchheim/Teck  
Telefon 07021/9448-0  
Telefax 07021/9448-99  
info@secgummi.de



**WAGU Gummitechnik GmbH**

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

**Kautschuk- und Silikon-Mischungen**



**Gummiwerk KRAIBURG GmbH & Co. KG**  
Teplitzer Straße 20  
84478 Waldkraiburg  
Telefon: 08638/61-0  
Telefax: 08638/61-310  
info@kraiburg-rubber-compounds.com  
www.kraiburg-rubber-compounds.com



Compounding Solutions

**FPM Silicone Standardmischungen**

MESGO S.p.A.  
Via Virgilio, 16  
I-24060 Gorlago (BG)  
Telefon: +39 035 953441  
Telefax: +39 035 952131  
E-mail: commerciale.sil@mesgo.it  
Internet: http://www.mesgo.it

**Naturkautschuke**

**Naturkautschuk – direkt vom Produzenten**

**Rohstoffagentur ANEXA Aktiengesellschaft**

Dipl. oec. Christian Knödel  
Reichsstraße 2, 04109 Leipzig  
+49-871-966 92-0  
+49-176-50 97 60 69  
christian.knoedel@anexa-ag.eu

[www.anexa-ag.eu](http://www.anexa-ag.eu)

**Ruße**



Biesterfeld Plastic GmbH  
Geschäftssegment Küttner  
Werkstraße 1  
67354 Römerberg  
Telefon: 06232/60049-0  
Telefax: 06232/60049-99  
E-Mail: kuettner@biesterfeld.com  
Internet: www.biesterfeld-plastic.com/kuettner

**Silikonkautschuk-Mischungen**



Gebr. Schmidt,  
Gummiwarenfabrik,  
Postf. 19 43,  
21659 Stade/Elbe  
Telefon (0 41 41) 4035-0  
Telefax (0 41 41) 4035-12



**Silicon · Fluor · Elastomer**  
Uelfe-Wuppertal-Straße 17-19  
42477 Radevormwald  
Tel. (02195) 674-0 · Fax (02195) 674-159



**Kompetenz-Center Silikonkautschuk**

Bluestar Silicones Germany GmbH  
Borsigstraße 1  
D-51381 Leverkusen  
Telefon: +49(0)21 71-91349 15  
Fax: +49(0) 21 71-91349 10  
<http://www.bluestarsilicones.com>

**HTV Silikonkautschuk**

**Vor- und Fertigmischungen** für Kabel,  
Schläuche, Profile, Formartikel...

**Thermoplastische Elastomere**



Biesterfeld Plastic GmbH  
Geschäftssegment Küttner  
Werkstraße 1  
67354 Römerberg  
Telefon: 06232/60049-0  
Telefax: 06232/60049-99  
E-Mail: kuettner@biesterfeld.com  
Internet: www.biesterfeld-plastic.com/kuettner

**B Hilfs- und Zusatzstoffe**

**Beschichtete technische Textilien**

**SI-KA-TEC®**  
engineering coating GmbH

**SI-KA-TEC GmbH®**  
Ascher Straße 26  
95100 Selb  
Tel: ++49 (0) 9287-9963-0  
Fax: ++49 (0) 9287-9963-99  
office@si-ka-tec.de  
www.si-ka-tec.de  
zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2008

**Dry Liquids**

Sourcing · Customizing · Manufacturing  
**LUVOMAXX®**  
SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann & Voss & Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon 040/44 19 70  
Fax 040/44 19 73 47  
luvomaxx@lehvoss.de  
www.luvomaxx.de

**Füllstoffe**

**ALPHA CALCIT**  
Füllstoff GmbH & Co. KG  
Postfach 11 06, D-50971 Köln  
Tel. (0 22 36) 89 14-0,  
Fax (0 22 36) 4 06 44,  
e-mail: info@alphacalcit.de

**Füllstoffe mineral**

**HOFFMANN MINERAL**

HOFFMANN MINERAL GmbH  
P.O. Box 1460  
86619 Neuburg (Donau), Germany  
Phone +49 (0) 8431-53-0  
Fax +49 (0) 8431-53-330  
info@hoffmann-mineral.com  
www.hoffmann-mineral.com

**Glasfaserprodukte**

SCHULLER GMBH  
Faserweg 1, 97877 Wertheim,  
Telefon 09342/80 10,  
Fax 09342/80 11 40  
Fasern, Vliese, Garne, Matten,  
Roving, Gewebe

**Glimmerpulver**

Mahlwerk Neubauer –  
Friedrich Geffers GmbH, Hamburg  
Tel.: 040-7121045 · Fax: 040-7135871

**Hartgummistaub aus EU-Produktion**

**G-W-R**

Gunnar Wewer, Rohstoffe GmbH  
Alsterblick 71, D-22397 Hamburg  
Tel. (040) 60 76 10 - 70, Fax -71

**Harze**

Sourcing · Customizing · Manufacturing  
**LUVOMAXX®**  
SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann & Voss & Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon 040/44 19 70  
Fax 040/44 19 73 47  
luvomaxx@lehvoss.de  
www.luvomaxx.de

**Kaoline+Calciumcarbonate**

**IMERYS**

**IMERYS** Minéraux Belgique S.A.  
Rue du Canal, 2  
4600 Visé (Lixhe) Belgium  
Tel.: +32(0)4 379 98 11  
Fax: +32(0)4 379 86 98  
Internet: www.imerys.com

**Kautschukchemikalien**

Sourcing · Customizing · Manufacturing  
**LUVOMAXX®**  
SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann & Voss & Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon 040/44 19 70  
Fax 040/44 19 73 47  
luvo@maxxlehvoss.de  
www.luvomaxx.de

**Kreide**

**Vereinigte Kreidewerke Dammann KG**

 Hildesheimer Str. 3  
31185 Söhle  
☎ (051 29) 78-0  
Fax: (051 29) 78-611

**Ruße**

Sourcing · Customizing · Manufacturing  
**LUVOMAXX®**  
SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann & Voss & Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon 040/44 19 70  
Fax 040/44 19 73 47  
luvomaxx@lehvoss.de  
www.luvomaxx.de

**MACROchem®**

**Carbon Black Only**

ul. Bursaki 19, 20-150 Lublin, Poland  
Tel: +48 81 747 88 19  
Email: marketing@makrochem.com  
www.makrochem.com

**Silane**

Deolink®-Silanpräparationen  
Deolink®-Flüssigsilane

**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

Sourcing · Customizing · Manufacturing  
**LUVOMAXX®**  
SOLUTIONS FOR RUBBER

Lehmann & Voss & Co. KG  
20354 Hamburg  
Telefon 040/44 19 70  
Fax 040/44 19 73 47  
luvomaxx@lehvoss.de  
www.luvomaxx.de

**Trennmittel/ Formtrennmittel**

**PROMOL**  
ANTIADHESIVES

Hans W. Barbe  
Chemische Erzeugnisse GmbH

Alte Schmelze 2 · 65201 Wiesbaden  
Tel. 0611 18292-0 · Fax 0611 18292-92  
info@barbe.de · www.barbe.de

**Trennmittel/Formenbeschichtungsmittel**

GUMMI-MISCHUNGEN GMBH  
**SEC**  
special elastomer compounds

SEC Gummimischungen GmbH  
Karl Arnold Straße 28  
D-73230 Kirchheim/Teck  
Telefon 07021/9448-0  
Telefax 07021/9448-99  
info@secgummi.de

**struktol®**

**SCHILL + SEILACHER STRUKTOL AKTIENGESELLSCHAFT**

Moorfleeter Str. 28  
22113 Hamburg  
Telefon (0 40) 7 33 62-0  
Telefax 7 33 62-1 94  
Internet: struktol.de  
e-mail: info@struktol.de

**Verarbeitungs-Wirkstoffe**

**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

**struktol®**

**SCHILL + SEILACHER STRUKTOL AKTIENGESELLSCHAFT**

Moorfleeter Str. 28  
22113 Hamburg  
Telefon (0 40) 7 33 62-0  
Telefax 7 33 62-1 94  
Internet: struktol.de  
e-mail: info@struktol.de

**Vernetzungsmittel**

GUMMI-MISCHUNGEN GMBH  
**SEC**  
special elastomer compounds

SEC Gummimischungen GmbH  
Karl Arnold Straße 28  
D-73230 Kirchheim/Teck  
Telefon 07021/9448-0  
Telefax 07021/9448-99  
info@secgummi.de

**Zinkoxid**

**Metaleurop GmbH Niederlassung Harzer Zinkoxide**

Landstraße 93, 38644 Goslar  
Tel. 053 21/684-0  
Fax 053 21/684-111

**Zinkweiß, Zinkoxid**

**Metaleurop GmbH Niederlassung Harzer Zinkoxide**

Landstraße 93, 38644 Goslar  
Tel. 053 21/684-0  
Fax 053 21/684-111

**C** Halb- und  
Fertig-  
erzeugnisse

**EVA-Chemikalienbeutel +  
Folien, sehr niedrig-  
schmelzend**

**G-W-R**

Gunnar Wewer Rohstoffe GmbH  
Alsterblick 71, D-22397 Hamburg  
Tel. (040) 60 76 10-70, Fax -71

**Folienverpackungen**

REBEL-KUNSTSTOFFE GMBH  
Postfach 15 16  
37145 Northeim  
Tel. 05551/9911-0, Fax 05551/9911-31  
e-mail: verkauf@rebel.de

**Gummierte Walzen**



**AHAUSER®**  
GUMMIWALZEN  
Den Schritt voraus!

Ahauser Gummiwalzen Lammers GmbH & Co. KG  
Heisenbergstraße 8 • D-48683 Ahaus  
Tel: 025 61 - 93 85 - 0 • Fax: 025 61 - 93 85 - 500  
hello@ahauser.com • www.ahauser.com

**Gummi-Formartikel  
Maßfertigung von  
Qualitätsgummi**

**AMITY POLYMERS**

Chennai, Indien  
Tel.: 0091 93828 84394  
Fax: 0091 44 5201 5698  
e-mail: amitypolymers@vsnl.net

**Gummiformteile aller Art**

**LAYHER**

*Flexible Technologie*

Layher AG

Kalkwerkstraße 23  
71737 Kirchberg/Murr

Telefon 0 71 44/32 04  
Telefax 0 71 44/3 43 07

e-mail: info@layherag.de  
www.layherag.de

Wilh. Kerspe GmbH + Co. KG  
Gummi- und Kunststoffwerk  
51688 Wipperfürth – Ohl

**Gummiwalzen**



**nowack**  
gummiwalzen

**PRODUKTIONSPROGRAMM**

- Fertigung in allen Elastomertypen
- Lieferung kompletter Gummiwalzen
- ø 760 x 7500 mm / 5,0 t
- Gummiwalzen-Schnellschleifdienst
- Technische Gummiformartikel

Nowack Gummiwalzen GmbH & Co. KG  
Werkstraße 10 32139 Spenge Telefon: 05225.1044 + 1045  
Telefax: 05225.6444 info@nowack-gummiwalzen.de  
www.nowack-gummiwalzen.de

**Präge-/Kalandermitlauffolien**

**G-W-R**

Gunnar Wewer Rohstoffe GmbH  
Alsterblick 71, D-22397 Hamburg  
Tel. (040) 60 76 10-70, Fax -71

**Rollen und Walzen**



TYP/TGW und TGW Technische  
Gummi-Walzen GmbH  
Technical rollers and cylinders  
Am Elzdamm 38, DE-79312 Emmendingen  
Tel. 0049 (0) 7641 91680  
www.typ-gummi-tgw.com

**D** Verfahren,  
Maschinen und  
Werkzeuge

**Bürst- und  
Entformsysteme**



Automatisierungstechnik GmbH  
Inkustraße 1-7, Objekt 4, Top 2  
A-3400 Klosterneuburg  
Tel.: ++43/22 43/2 85 34-20  
e-mail: office@robotix.at  
www.robotix.at

**Compoundiertechnologie**



Buss AG  
Pratteln/Schweiz  
Tel. 0041 61 825 66 00  
Mail info@busscorp.com  
Web www.busscorp.com

**Elektromotoren**



Menzel-Elektromotoren GmbH  
Neues Ufer 19/25, 10553 Berlin  
Telefon 030/3 44 50 51,  
Fax 030/3 44 50 68



**Entgratung**



**Entgratung von  
Gummi- und  
Kunststoffteilen**

ECO TÜV CERT DIN EN  
ISO 9001 : 2000 QA-Nr. 0410011604/01

Zu Hildringhausen 35, 57462 Olpe/Bigges  
Tel. 0 27 61/9 45 30 - Telefax 0 27 61/9 45 329

**Entgratungsanlagen**



**Entgratungs-  
maschinen  
für Gummi- und  
Kunststoffformteile**

MEWO TÜV CERT DIN EN  
ISO 9001 : 2000 QA-Nr. 0410011604

**Erwin Wacker**  
Bilsteiner Str. 12 57462 Olpe/Bigges  
Tel. 0 27 61/9 45 30 - Telefax 0 27 61/9 45 329

**Extruder  
(Schnecken-Pressen)**

Leistritz GmbH, 90459 Nürnberg

**Farbdosiergeräte**

SIMAR Fördertechnik GmbH  
Am Fuchsloch 7  
71665 Vaihingen/Enz  
Tel. 0 70 42/9 03-0, Fax 9 03 39

**Gewindebuchsen /  
Einsätze / Inserts**



**TFC Europe Ltd**  
44809 Bochum  
Tel. 0234 92361-0, Fax 0234 923616  
www.tfcp.de

**Gebrauchte Kunststoff-  
Maschinen**

An- und Verkauf  
Spritzguss – Extrusion – Blasen



**500 gebrauchte Kunststoff-  
maschinen ab Lager lieferbar**

PLAMA Plastik-Maschinen GmbH  
Postfach 1528, D-42759 Haan  
Bergische Str. 15, D-42781 Haan  
Telefon 0 21 29/5 10 55,  
Fax 0 21 29/45 55  
e-mail: PlamaGmbH@aol.com



**Getriebe**

**BRAUER**

Maschinentechnik AG

D-46395 Bocholt-Industriepark  
Fon: 02871 / 7033 Fax: 7036

**Industriegetriebe**

Getriebereparaturen  
Leistungssteigerungen  
Neue Sondergetriebe

für:

- Walzwerke
- Kalender
- Extruder

[www.brauer-getriebe.de](http://www.brauer-getriebe.de)

**Gummi- und Kunststoff-  
entgratung  
Endbearbeitung und  
Versand  
Mattieren und Gleitschleifen  
Entgummieren und  
Entschichten**

Zertifiziert nach DIN EN ISO 9002  
**EPP – Gebr. Plömacher GmbH**  
Industriestraße 7  
51709 Marienheide  
Tel. (02264) 7018 + 4576-0, Fax 7016

Werk Nord: EEP – Gebr. Plömacher  
GmbH Quarrendorfer Weg 12  
21442 Toppenstedt  
Tel. (04173) 8188

Werk Süd: EEP-HW-Oberflächen-  
bearbeitung GmbH  
Robert-Bosch-Str. 5  
72124 Pliezhausen  
Tel. (07127) 890400

**Heizelement-  
Schweißmaschinen**



KVT Bielefeld GmbH, Rabenhof 18 A  
Tel. (0521) 932070, Fax 9320711

**Hydraulische Pressen**



**SASPOL S.R.L.**

Corso Torino, 98  
I-27029 Vigevano  
Tel.: +39-(0)381-329648  
Fax: +39-(0)381-329647  
E-Mail: [saspol@mbox.vol.it](mailto:saspol@mbox.vol.it)

**WICKERT**

hydraulic presses

**Wickert Maschinenbau GmbH**  
Wollmersheimer Höhe 2, 76829 Landau  
Tel.: 06341/9343-0, Fax: 06341/9343-30  
Internet: [www.wickert-presstech.de](http://www.wickert-presstech.de)  
E-Mail: [info@wickert-presstech.de](mailto:info@wickert-presstech.de)

**Hydraulische Stanzen**



**SASPOL S.R.L.**

Corso Torino, 98  
I-27029 Vigevano  
Tel.: +39-(0)381-329648  
Fax: +39-(0)381-329647  
E-Mail: [saspol@mbox.vol.it](mailto:saspol@mbox.vol.it)

**Innenreinigung Walzen**

- Innenreinigung wassergekühlter Walzen
- Innenreinigung Kühlsysteme UGT 2000 GmbH  
[www.ugt.2000.de](http://www.ugt.2000.de)  
Tel.: 034345/20629

**Kunststoff-  
Schweißmaschinen**

KVT Bielefeld GmbH, Rabenhof 18 A  
Tel. (0521) 932070, Fax 9320711

**Laborgeräte**

**Gummi-Prüfinstrumente**  
Rheometer, Viskometer,  
Dichte- u. Zugprüfung,  
PC-Einzel- u. Netzversionen

**GTI Gummi-Test-Instrumente  
Vertriebs GmbH**  
Uelfe-Wuppertal-Str. 17-19  
42477 Radevormwald  
Tel. 02195/5020  
Fax 02195/5080

**Laborpressen**

SERVITEC GmbH  
14641 Wustermark  
[www.servitecberlin.de](http://www.servitecberlin.de)

**WICKERT**

hydraulic presses

**Wickert Maschinenbau GmbH**  
Wollmersheimer Höhe 2, 76829 Landau  
Tel.: 06341/9343-0, Fax: 06341/9343-30  
Internet: [www.wickert-presstech.de](http://www.wickert-presstech.de)  
E-Mail: [info@wickert-presstech.de](mailto:info@wickert-presstech.de)

**Laborwalzwerke**

SERVITEC GmbH  
14641 Wustermark  
[www.servitecberlin.de](http://www.servitecberlin.de)

**Laser-Schweißmaschinen**



KVT Bielefeld GmbH, Rabenhof 18 A  
Tel. (0521) 932070, Fax 9320711

**Misch-, Silier-, Förder- und  
Dosier-Anlagen**

SIMAR Fördertechnik GmbH  
Am Fuchsloch 7  
71665 Vaihingen/Enz  
Tel. 07042/903-0, Fax 90339

**Mischwalzwerke**



Mischwalzwerke, Innenmischer  
Kalender und Extruder für Gummi  
In Labor und Produktion  
ITALMEC SRL  
Via Saronnese, 60  
**20027 RESCALDINA (MI) Italy**  
Tel.: 0039(0)331 469022  
Fax: 0039(0)331 469075  
e-mail: [info@italmecsr.com](mailto:info@italmecsr.com)  
Internet: [www.italmecsr.com](http://www.italmecsr.com)

**Pneumatische Förder-,  
Dosier- und Verwiege-  
anlagen für Ruße und helle  
Stoffe**

Prof. Dr. Bruckschen & Partner GmbH  
Ingenieure; Kranzer Hof, 47447 Moers  
Tel. 02841/61074 o. 61075, Fax 66481

**Spritzgieß-Maschinen**



ARBURG GmbH + Co. KG  
Arthur-Hehl-Str., D-72290 Loßburg,  
Tel. 07446/330  
Fax 07446/33-3365  
[www.arburg.com](http://www.arburg.com)



**SASPOL S.R.L.**

Corso Torino, 98  
I-27029 Vigevano  
Tel.: +39-(0)381-329648  
Fax: +39-(0)381-329647  
E-Mail: [saspol@mbox.vol.it](mailto:saspol@mbox.vol.it)

**Stanzanlagen/Sägeanlagen**



**Sondermaschinen**

Ablängautomaten, Sägemaschinen  
Stanzanlagen, Sonderanfertigungen  
D. Beller Feurenmoos 18,  
88069 Tettnang, Tel. 07542/7050,  
Fax 07542/52700

**Trockenförder-Anlagen**

ARBURG GmbH + Co. KG  
D-72290 Loßburg, Arthur-Hehl-Str.  
Tel. 07446/330  
Fax 07446/33-3365,  
e-mail: [contact@arburg.com](mailto:contact@arburg.com)  
Internet: [www.arburg.com](http://www.arburg.com)

**Ultraschall-  
Schweißmaschinen**



KVT Bielefeld GmbH, Rabenhof 18 A  
Tel. (0521) 932070, Fax 9320711

**Verarbeitungsmaschinen**

**EHVOWEST**

Development – Consulting – Service  
Converting & Finishing process  
special: **adhesive – tape – application**  
+492166132766-[www.ehvwost.com](http://www.ehvwost.com)

**Vibrations-Reib-  
Schweißvorrichtungen**

KVT Bielefeld GmbH, Rabenhof 18 A  
Tel. (0521) 932070, Fax 9320711

**Vorwärme-, Temper- und  
Trockenöfen**

**ELIOP therm** Industrieofenbau GmbH  
Käthe-Kollwitz-Straße 10  
D 98631 Römhild  
Tel: (036948) 80283, Fax: 80287

**Walzen**

**LKS KRONENBERGER GmbH**  
Metallveredelung  
Friedrich-Ebert-Str. 1-5  
63500 Seligenstadt  
Tel.: 06182-801-0  
Fax: 06182-801-300  
Hartchrom, Präz.-Rundschleifen  
Spiegelhochglanz,  
Reparatur u. Aufarbeitung



**drink & schlössers**  
walzen  
technik

Mühlenweg 21-37 · D-47839 Krefeld-Hüls  
Tel. 02151/74669-0 · FAX 02151/74669-10  
Internet: <http://www.ds-walzen.de>  
e-mail: [info@ds-walzen.de](mailto:info@ds-walzen.de)

**Wärmekammern**



**Will &  
Hahnenstein GmbH**

D-57562 Herdorf  
Tel.: 02744/9317-0,  
Fax: 9317-17  
[info@will-hahnenstein.de](mailto:info@will-hahnenstein.de)  
[www.will-hahnenstein.de](http://www.will-hahnenstein.de)

**Wärmeschutz-Platten**

 **Brandenburger**  
**Brandenburger-Isoliertechnik**  
GmbH & Co. KG  
Taubensuhlstraße 6  
76829 Landau/Pfalz  
Tel. 0 63 41/51 04-0,  
Telefax 063 41/51 04-155  
info@brandenburger.de  
www.brandenburger.de

**DOTHERM Isolierwerkstoffe**  
**GmbH & Co. KGk**  
Heßlingsweg 65-67  
44309 Dortmund  
Tel. 02 31-92 50 00-0, Fax: 02 31-92 50 00-80  
E-Mail: info@dotherrn.de, Web: www.dotherrn.de

**Werkzeug- und Formenbau**

FRANCIACORTA  
STAMPI SRL   
Entwicklung, Beratung, Projektierung und Bau  
von Formen und Werkzeugen für Gummi-,  
Silikon- und Thermoplastikformteilen.  
ufficiocommerciale@franciastampi.it  
info@fcs-formenbau.de  
Via Marco Biagi 14-16 www.franciastampi.it  
25040 Corte Franca (Bs) - Italy www.fcs-formenbau.de

**E Meß-, Steuer-  
und Prüfgeräte**

**Automatisierungs- und  
Steuersysteme MTS-  
Systeme**

Automatisierungs- und Steuerungssysteme,  
Rohstoffrückverfolgung, Qualitätssicherung

CT Datentechnik GmbH  
Eschenstr. 2  
31582 Nienburg a.d. Weser  
Tel.: +49 (0) 5021-9724-0  
Fax: +49 (0) 5021-9724-18  
http: www.ctdatentechnik.de  
e-mail: mbox@ctdatentechnik.de



**Feuchtemessung**

aboni GmbH  
Telefon 07 00-22 66 43 66  
www.aboni.de

**Härteprüfgeräte**

Zwick GmbH & Co., Materialprüfung  
August-Nagel-Str. 11, D-89079 Ulm  
Tel. 0 73 05-1 00, Telex 7 12 830

**Ozonprüfschränke und  
Ozonanlagen**



ARGENTOX Ozone Technology GmbH  
Humboldtstraße 14, 21509 Glinde  
Tel. 0 40/728 162-0,  
Fax 0 40/728 162-28  
e-mail: mail@argentox-ozone.de  
Internet: www.argentox-ozone.de

**F Dienstleistungen**

**Wasserstrahlschneiden  
in 2- und 3-D**

**WASSER in 2-D  
und 3-D STRAHL  
SCHNEIDEN**  
W.P. Hydroschneide Technik  
Tel. 08389 - 92397-0  
Fax 08389 - 92397-20  
info@wpfi.de www.wpfi.de

# SCHLAUCHBEU TELVERPACKU NGSMASCHINE

Wir machen komplexe Sachverhalte regelmäßig transparent. Zuverlässig und mit höchster redaktioneller Qualität. Deshalb sind die Fachzeitschriften und Online-Portale von Hüthig in vielen Bereichen von Wirtschaft und Industrie absolut unverzichtbar für Fach- und Führungskräfte.

 **Hüthig**  
erfolgsmedien für experten

Hüthig GmbH  
Im Weiher 10  
D-69121 Heidelberg  
Tel. +49 (0) 6221 489-0  
Fax +49 (0) 6221 489-279  
www.huethig.de

## VORSCHAU

### KGK KAUTSCHUK GUMMI KUNSTSTOFFE 09/15

- M. L. Tawfic, A. I. Hussein, Dokki, Cairo, Egypt  
**Multipurpose Additive for Ethylene Propylene Diene and Acrylonitrile Rubber Blend**
- Magdy Abdel, Hammed Zahran, Moneer Moneer Basuni, Moneufia, Egypt  
**Study on Graft-Copolymerization of Sodium Lignosulfonates with Acrylic Monomers**
- Anida Petchkaew, Kannika Sahakaro, Pattani, Thailand, Wilma K. Dierkes, Jacques W. M. Noordermeer, Enschede, The Netherlands  
**Petroleum-based Safe Process Oils in NR and NR/SBR Blends: Part III. Effects of Oil Types and Contents on the Properties of Carbon Black Filled Compounds**
- Thomas Götze, Rico Hickmann, André Hürkamp, Sven Wießner, Gert Heinrich, Olaf Diestel, Chokri Cherif, Michael Kaliske, Dresden  
**Vergleich der Faser-Matrix-Haftung von Elastomer-PPS-Verbunden unter quasistatischer und statisch/dynamischer Belastung im Zugmodus in Abhängigkeit von der Temperatur**

## IMPRESSUM



www.kgk-rubberpoint.de  
68. Jahrgang 2015  
ISSN 0948-3276

### IHRE KONTAKTE:

Redaktion: Telefon: 06221/489-272, Fax: -481  
Anzeigen: Telefon: 06221/489-301, Fax: -481  
Abonnement- und Leser-Service:  
Tel.: 08191/125-777, Fax: 08191/125-799  
E-Mail: [leserservice@huethig.de](mailto:leserservice@huethig.de)



**Hüthig**

erfolgsmedien für experten

### REDAKTION

Dipl.-Ing. Harald Wollstadt (v.i.S.d.P.),  
Tel.: 06221/489-308, Fax: 06221/489-481,  
Dr. Etwina Gandert, Redakteurin  
Tel.: 06221/489-246,  
Fax: 06221/489-481  
E-Mail: [etwina.gandert@huethig.de](mailto:etwina.gandert@huethig.de)  
Christine Koblmiller, Tel.: 06221/489-287,  
E-Mail: [christine.koblmiller@huethig.de](mailto:christine.koblmiller@huethig.de)  
Diana Böning, (Assistenz), Tel.: 06221/489-272,  
E-Mail: [diana.boenning@huethig.de](mailto:diana.boenning@huethig.de)

### Beirat

Prof. Dr. Anke Blume, Evonik Industries, Wesseling  
Prof. Dr. Maurizio Galimberti, Politecnico di Milano, Milano (Italien)  
Prof. Dr. Ivan Hudec, Slovak University, Bratislava (Slowakei)  
Prof. Dr. Jörn Ihlemann, TU Chemnitz, Chemnitz  
Prof. Dr. Seiichi Kawahara, Nagaoka University, Niigata-Ken (Japan)  
Prof. Dr. Liqun Zhang, Beijing University, Beijing (China)  
Dr. Ernst Osen, Freudenberg Sealing Technologies, Weinheim  
Dr. Georges Thielen, Goodyear, Colmar-Berg, (Luxemburg)

### Organ

Deutsche Kautschuk-Gesellschaft e.V.  
Normenausschuss im DIN Anzeigen

### ANZEIGEN

#### Anzeigenleitung:

Ludger Aulich, Tel.: 06221/489-230, Fax: 06221/489-481,  
E-Mail: [ludger.aulich@huethig.de](mailto:ludger.aulich@huethig.de)

#### Mediaberater:

Klaus-Dieter Block, DW-301,  
E-Mail: [klaus-dieter.block@huethig.de](mailto:klaus-dieter.block@huethig.de)

#### Anzeigendisposition:

Ulrike Ruf, DW-379, E-Mail: [ulrike.ruf@huethig.de](mailto:ulrike.ruf@huethig.de)

#### Sonderdruckservice:

Diana Böning, E-Mail: [diana.boenning@huethig.de](mailto:diana.boenning@huethig.de)  
Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 47 vom 01.10.2014

### VERTRIEB

Vertriebsleitung: Hermann Weixler

#### Abonnement:

<http://www.kgk-rubberpoint.de/kontakt/abo>  
Jahresabonnement (inkl. Versandkosten) Inland € 278,20  
Ausland € 289,97 Einzelheft € 31,- zzgl. Versandkosten.  
Der Studentenrabatt beträgt 35%.  
Alle Preise verstehen sich inkl. MwSt.

#### Kündigungsfrist:

Jederzeit mit einer Frist von 4 Wochen zum Monatsende.

#### Abonnement- und Leserservice:

Hüthig GmbH  
Leserservice, 86894 Landsberg  
E-Mail: [leserservice@huethig.de](mailto:leserservice@huethig.de)

Tel.: 08191/125-777, Fax: 08191/125-799

#### Erscheinungsweise

9 x jährlich

#### VERLAG

Hüthig GmbH, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg,  
Tel.: 06221/489-0, Fax: 06221/489-481. [www.huethig.de](http://www.huethig.de)  
Amtsgericht Mannheim HRB 703044

#### Geschäftsführung:

Fabian Müller

#### Verlagsleitung:

Rainer Simon

#### Herausgeber:

Prof. Dr. Ulrich Giese, DIK Hannover

#### Produktmanager Online:

Philipp Fischer

#### Leitung Herstellung:

Horst Althammer

#### Art Director:

Jürgen Claus

#### Satz und Layout:

JournalMedia GmbH, Richard-Reitzner-Allee 4,  
85540 München-Haar

#### Druck:

Kessler Druck + Medien, Michael-Schäffer-Str. 1,  
86399 Bobingen

#### © Copyright

Hüthig GmbH, 2015, Heidelberg. Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichung kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion, vom Verleger und Herausgeber nicht übernommen werden. Die Zeitschriften, alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen, sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen. Mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung in dieser Zeitschrift geht das umfassende, ausschließliche, räumlich, zeitlich und inhaltlich unbeschränkte Nutzungsrecht auf den Verlag über. Dies umfasst insbesondere das Printmediarecht zur Veröffentlichung in Printmedien aller Art sowie entsprechender Vervielfältigung und Verbreitung, das Recht zur Bearbeitung, Umgestaltung und Übersetzung, das Recht zur Nutzung für eigene Werbezwecke, das Recht zur elektronischen/digitalen Verwertung, z.B. Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen, zur Veröffentlichung in Datennetzen sowie Datenträger jedweder Art, wie z. B. die Darstellung im Rahmen von Internet- und Online-Dienstleistungen, CD-ROM, CD und DVD und der Datenbanknutzung und das Recht, die vorgenannten Nutzungsrechte auf Dritte zu übertragen, d.h. Nachdruckrechte einzuräumen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen und dergleichen in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zur Annahme, dass solche Namen im Sinne des Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Für unverlangt eingesandte Manuskripte wird keine Haftung übernommen. Mit Namen oder Zeichen des Verfassers gekennzeichnete Beiträge stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar. Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen für Autorenbeiträge.

### AUSLANDSVERTRETUNGEN

**Belgien, Frankreich:** Agence Eychenne, Carolyn Eychenne, 27 chemin des Sablons de la Montagne, F-78160 Marly-le-Roi  
Tel.: +33-139581401, Fax: +33-971705241,  
E-Mail: [carolyn@eychenne.me](mailto:carolyn@eychenne.me)

**Dänemark, Finnland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Slowakei, Spanien, Tschechien, Ungarn, USA/Kanada:**

Publimedia GmbH, Peter Wokurka, Leondingerstr. 27,  
A-4020 Linz, Tel.: +43-70-668876, Fax: +43-70-612783,  
E-Mail: [peter@wokurka.at](mailto:peter@wokurka.at)

**Großbritannien:** Richard H. Thompson, 38 Addison Avenue,  
GB-London W11 4QP Tel.: +44-20 76-02 10 65, Fax: +44-20 76-02 21 98, E-Mail: [richardmedia@yahoo.com](mailto:richardmedia@yahoo.com)

**Italien, Schweiz, Liechtenstein:** interpress, Katja Hammelbeck, Bahnhofstr. 20 A, Postfach, CH-8272 Ermatingen, Tel.: + 41-71-663 77 85, Fax.: + 41-71-663 77 89, E-Mail: [kh@interpress-media.ch](mailto:kh@interpress-media.ch)



Angeschlossen der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern (IVW), Printed in Germany

**Datenschutzhinweis:** Ihre Angaben werden von uns für die Vertragsabwicklung und für interne Marktforschung gespeichert, verarbeitet und genutzt und um von uns und per Post von unseren Kooperationspartnern über Produkte und Dienstleistungen informiert zu werden. Wenn Sie dies nicht mehr wünschen können Sie dem jederzeit mit Wirkung für die Zukunft unter [leserservice@huethig.de](mailto:leserservice@huethig.de) widersprechen.



Feiern Sie mit uns  
**90 Jahre Hüthig**  
 Feiern Sie mit uns **90 Jahre Hightech & Innovation**  
 Mit der exklusiven  
**Sonderausgabe**  
 Auflage:  
**100.000 Exemplare**

1925-2015 **90 JAHRE**  
 **Hüthig**

1925 wagte Verleger Dr. Alfred Hüthig (1900 – 1996) die Gründung eines Fachverlages. Und es wurde eine Erfolgsgeschichte. Dr. Alfred Hüthig machte den nach ihm benannten Verlag zu einem der größten und erfolgreichsten Fachverlage in Deutschland. Seit 1999 ist der Hüthig Verlag Teil der Mediengruppe Süddeutscher Verlag in München. Und auch heute zählt der Hüthig Verlag mit seinem breiten Medien-Portfolio zu den größten Fachinformationsanbietern für Industrie und Elektrohandwerk.

Kontakt: rainer.simon@huethig.de, Tel. +49 (0) 6221 489-238, www.huethig.de

MANCHMAL ENTDECKT  
MAN DIE FASZINIERENDSTEN  
WELTEN NICHT MIT DEM  
AUTO, SONDERN AM AUTO.

#### FUNKTIONELLE FÜLLSTOFFE FÜR ELASTOMERE

Mit SILLITIN und AKTISIL eröffnen sich Ihnen unzählige Anwendungsmöglichkeiten. Zum Beispiel in hochwertigen Profilen, Faltenbälgen und Schläuchen. Neuburger Kieselerde ist ein natürliches Gemisch aus korpuskularer, kryptokristalliner und amorpher Kieselsäure und lamellarem Kaolinit. Als Füllstoff bietet sie enorme Vorteile: gute Dispergierbarkeit, hohe Extrusionsgeschwindigkeit bei guter Oberflächenqualität und Formstabilität in Kombination mit niedrigem Druckverformungsrest. Nutzen Sie unser Know-how!



**HOFFMANN  
MINERAL**

Wir geben Stoff für gute Ideen