RFL-freie Haftvermittler

Neue Ansätze für textile Verstärkungen in Gummianwendungen und für sichere und effizientere Prozesse

Resorcinol-Formaldehyd-Latex (RFL) hat sich bewährt, wird aber unter gesundheitlichen Aspekten immer kritischer betrachtet. Ein neuer Haftvermittler ersetzt RFL nicht nur durch eine weniger kritische Chemie. Er kombiniert hohe Haftfestigkeit mit konkreten Vorteilen für den Produktionsprozess. Neben dem Verzicht auf Resorcinol, Formaldehyd und Isocyanate entfallen zusätzliche Prozessschritte wie der Pre-Dip. Gleichzeitig ermöglicht die Formulierung eine lösemittelfreie Vorfixierung textiler Verstärkungen. Damit verbindet der Entwicklungsansatz Produktinnovation mit Prozessvereinfachung – ein entscheidender Vorteil für die industrielle Gummiverarbeitung.

RFL ist ein seit Jahrzehnten bewährtes Haftvermittlungssystem, das eine der zentralen Herausforderungen der Gummiindustrie löst: Die dauerhafte Verbindung von Gummi mit Verstärkungsmaterialien wie beispielsweise Polyester-, Polyamid-, Aramid- oder Glasfasern. Diese Fasern besitzen hohe Festigkeiten, haften jedoch von Natur aus nur schlecht an elastischen Gummimischungen. RFL bildet im ausgehärteten Zustand eine funktionale Zwischenschicht, die beide Werkstoffe zuverlässig miteinander verbindet.

Die wohl bekannteste Anwendung ist die Herstellung von Reifen. Textile Korde in der Karkasse, den Gürteln oder den Wulstbereichen müssen die beim Fahren auftretenden

Interessant für
alle Branchen

Dr. Bruno Traber
Entwicklung und Know-How Management

Ronny Ebling
Business Development Gummianwendungen

Philipp Frei
Entwicklung und Verfahrenstechnik

Collano AG
www.collano.com

Zum Lösungspartner

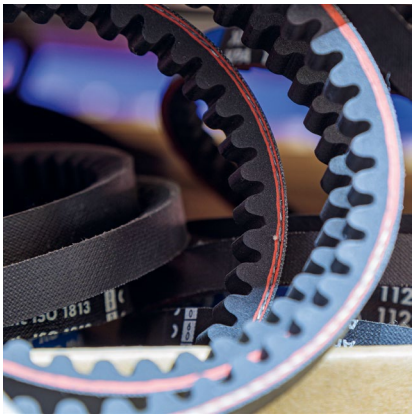


Bild 1: Riemen sind eine typische Anwendung, bei der unidirektional ausgerichtete Verstärkungsfasern oder gewobene Verstärkungsgewebe mit dem Collano Haftvermittler an den Gummi angebunden werden (Bild: iStock.com/Yuriy Pozdnikov)



Bild 2: T-Peel Probe eines EPDM-Gummis mit Aramidverstärkungsfasern. Das Bruchbild zeigt sowohl adhäsives Versagen zur Faser wie auch Substratriss im Gummi
(Bild: Collano AG)

Kräfte sicher vom Gummi auf die Verstärkungsfasern übertragen. Eine Delamination der beiden Materialien würde die Lebensdauer, Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Reifens erheblich beeinträchtigen. RFL sorgt hier für eine hohe Haftfestigkeit, eine gute Ermüdungsbeständigkeit und ein zuverlässiges Verhalten unter dynamischer Belastung.

Faser-Gummi-Verbunde finden sich aber nicht nur in Reifen, sondern auch in anderen hoch beanspruchten Produkten **(Bild 1)**. In Förderbändern muss die Kraftübertragung vom Gummi zu den Zugträgern trotz permanenter dynamischer Belastung und zum Teil engen Umlenkradien jederzeit gewährleistet sein. Insbesondere bei Förderbändern für Erzminen kommen Belastungen durch schweres Transportgut und wechselnde Klimabedingungen hinzu. Auch in Gummischläuchen dürfen Vibrationen, Druckschwankungen und Biegebeanspruchungen zu keinem Leistungsabfall führen. Hier treten mitunter höhere Temperaturbelastungen auf, welche der RFL-Haftvermittler abfedern muss. Dichtungen gewinnen insbesondere durch Gewebeverstärkung ihre Formstabilität und Druckfestigkeit, während der Gummi die Dichtigkeit gewährt. Auch Dichtungen unterliegen häufig mechanischer Belastung, welche ohne RFL zu einer Delamination **(Bild 2)** und entsprechendem Leistungsverlust führen können. [1, 2]

Warum RFL-Alternativen dringend benötigt werden

So gut die chemische Performance von RFL ist, so kritisch muss diese unter gesundheitlichen Aspekten gesehen werden. Im Hauptfokus steht hier das Formaldehyd, das von der Europäischen Union als krebserregender Stoff eingestuft wurde. Bei der Herstellung von RFL-Systemen, bei der Beschichtung von Textilien („Dips") sowie bei thermischen Prozessen können Beschäftigte Formaldehyd ausgesetzt sein. Dies führt zu strengen Anforderungen hinsichtlich des Arbeitsschutzes, der Emissionskontrolle und der Überwachung der Produktionsanlagen. Doch auch Resorcinol gerät zunehmend in den Fokus regulatorischer Bewertungen. Der Stoff gilt als gesundheitlich bedenklich und wird hinsichtlich möglicher Auswirkungen auf Menschen und Umwelt überwacht. Dies führte dazu, dass die Suche nach gesundheitlich weniger belastenden Alternativen in den letzten Jahren intensiviert wurde. Doch auch der Wunsch nach mehr Nachhaltigkeit hat einen Technologiewandel angestoßen.

Bestehende Alternativen überzeugen nur teilweise

Der Ersatz von Formaldehyd durch Hydroxymethylfurfural (HMF) ist schon weit fortgeschritten. 2022 erschienen Berichte vom Deutschen Institut für Textil- und Faserforschung vom erfolgreichen Umstieg [3] auf HMF. Einen Schritt weiter ging ein Reifenhersteller, der zusätzlich die phenolischen Komponenten (unter anderem Resorcinol) durch Polyphenole ersetzte. Dieses System ist seit 2018 kommerziell erhältlich [4, 5].

In der Patentliteratur sind weitere Systeme beschrieben, die chemisch komplett unterschiedlich zu RFL zusammengesetzt sind. Sie basieren auf Isocyanaten [6], Epoxyden [7] oder Acrylaten [8]. Von diesen Systemen hat sich nur ein Isocyanat-basierter Haftvermittler [9] etabliert.

Trotz dieser Entwicklungen dominiert RFL den Markt weiterhin. Mit der Neuentwicklung wollte man RFL nicht einfach ersetzen, sondern vielmehr einen Haftvermittler entwickeln, der gleichzeitig sicherer, einfacher und effizienter in der Anwendung ist. Aus dieser Zielsetzung entstand der gewählte Entwicklungsansatz.

Anforderungen an einen modernen Haftvermittler

Die Primerwirkung, also das Erzeugen einer verbesserten Haftung zwischen Verstärkungsfasern und Gummi, ist nur die erste, wenn auch offensichtlichste Anforderung an den Haftvermittler. Die Materialkombination enthält einerseits hochfeste, steife Fasern und Gewebe und andererseits weiche, elastische Gummimischungen. Der Haftvermittler muss beide Materialien anbinden und einen hohen Widerstand gegen Zug-, Schäl- und Vibrationsbelastungen bieten. Er muss die Kräfte zwischen den

Materialien übertragen und Spannungsspitzen an den Grenzflächen ausgleichen. Idealerweise soll die Bindung zu den Substraten stärker sein als die Festigkeit des vulkanisierten Gummis, sodass bei einem Versagen keine Delamination an der Grenzfläche auftritt, sondern ein Materialbruch im Gummi. Insbesondere bei hoch beanspruchten Teilen wie Reifen, Riemen, Dichtungen und Förderbändern sind die Anforderungen durch millionenfache Lastwechsel im Dauergebrauch sehr hoch. Durch die dynamischen Belastungen dürfen keine Mikrorisse und Delaminationen entstehen.

Eine ebenso große Herausforderung ist die Tatsache, dass das Gummi keineswegs eine einheitliche Substanz ist, sondern eine chemisch sehr heterogene Stoffgruppe beschreibt. Die meistverwendeten Gummitypen sind Naturkautschuk (NR), Styrolbutadienkautschuk (SBR), Nitrilkautschuk (NBR) und Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM). Die Vulkanisierung erfolgt über die Bildung von Schwefelbrücken oder durch Peroxide induzierte radikalische Polymerisation. SBR und NBR können auch nur rein thermisch vulkanisiert werden. Bei Vulkanisationstemperaturen von 120 °C bis 180 °C und hoher Wärmeentwicklung im Gebrauch sind auch erhöhte Anforderungen an die Temperaturstabilität des Haftvermittlers gegeben.

Ein neuer Entwicklungsansatz

Es ist gelungen, die Anforderungen an die technische Performance und an die zunehmend strenger werdenden Regulatorien in einem neuen Haftvermittler zu vereinen. Basis der Formulierungen sind wässrige Acrylat- oder Ionomerdispersionen unter dem Verzicht auf toxikologisch bedenkliche Inhaltsstoffe. Somit sind die Dip-Lösungen frei von Lösungsmitteln, Resorcinol, Formaldehyd und Isocyanaten. Die für die Langlebigkeit und Dauerbelastungsfestigkeit notwendige Vernetzung wird durch die Verwendung von multifunktionalen Acrylaten sichergestellt. Durch die Acrylatchemie des Haftvermittlers kann dieser im Falle einer peroxidischen Vulkanisation ohne Peroxide in der Formulierung hergestellt werden. Dadurch ist der Haftvermittler selbst und die getränkten Verstärkungsfasern und -gewebe über Monate lagerstabil. Die Vernetzung erfolgt bei der Vulkanisation selbst und wird durch die Radikale im Kautschuk initiiert.

Mehr als ein RFL-Ersatz: vereinfachte Verarbeitung

Die Abkehr von der klassischen RFL- und Isocyanatchemie bringt weitere technische Vorteile. So benötigen Fasern mit niedriger Oberflächenenergie wie beispielsweise Polyesterfasern oder Aramidfasern einen Pre-Dip, um zusammen mit der RFL-Lösung eine genügend hohe Festigkeit zu entwickeln. Mit der neuen Lösung entfällt dieser Prozess-

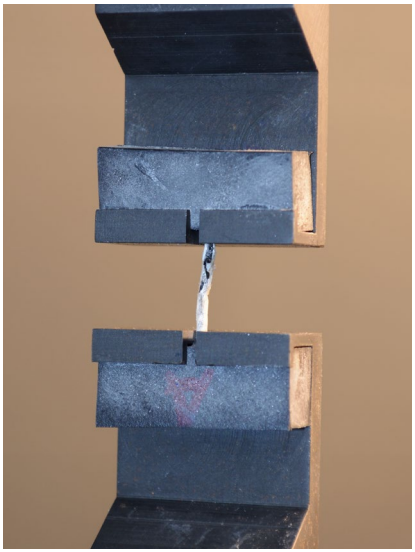


Bild 3: H-Auszugstest: hier ein Polyestercord in EPDM-Gummi (Bild: Collano AG)

schritt bei diesen Fasertypen. Die aufgebaute Haftung durch den Haftvermittler allein erfüllt die Anforderungen. Eine weitere Prozessvereinfachung ergibt sich aus der Möglichkeit, die Formulierungen leicht dauerklebrig einzustellen. Insbesondere beim Riemenbau oder bei geometrisch anspruchsvollen Dichtungen müssen die Verstärkungsfasern auf den Rohlingen vorfixiert werden. Dazu wird in der Regel der Gummirohling mit Lösungsmitteln wie Toluol oder Benzingemische klebrig gemacht, damit die Verstärkungsfasern positioniert werden können. Mittels des leicht dauerklebrigen Haftvermittlers kann die Positionierung lösemittelfrei gestaltet werden, ohne dass die Abrollbarkeit des Kords von der Spule beeinträchtigt ist. Auch die Vorfixierung mehrerer Gummi- und Gewebelagen ist möglich.

Versuchsaufbau und Prüfmethodik

Die Leistungsfähigkeit des Haftvermittlers wurde mit dem H-Auszugstest **(Bild 3)** gemäss ASTM D 4776-18 bewertet. Dabei wird ein einzelnes Textilkord an beiden Enden in einen Gummiblock eingebettet und der Prüfkörper vulkanisiert. Es entsteht der namensgebende Prüfkörper in „H-Form". Anschließend wird der Prüfkörper in eine Zugprüfmaschine eingespannt und die Kraft gemessen, die erforderlich ist, um das Kord aus dem Gummiblock herauszuziehen.

Für die Untersuchungen wurde ein peroxidvernetzender EPDM-Kautschuk als Gummikomponente sowie ein dreifach gezwirntes Polyesterkord (1100 dtex) als Verstärkungsträger gewählt. Verschiedene Haftvermittler wurden mit einer klassischen RFL-Lösung [10] sowie der kommerziellen Cokoon-Tauchlösung [11] verglichen.

Die untersuchten eigenen Haftvermittler [12] basieren auf einer wässrigen Ionomer-Dispersion, einem multifunktionalen Acrylatmonomer und einem Tensid. Je nach Formulierung wurden zusätzliche wässrige Dispersionen oder ein Peroxid eingesetzt. Während die Dispersionen insbesondere zur Erzeugung einer leichten Dauerklebrig-

	Ionomer-Dispersion	Co-Dispersion	Acrylat-Monomer	Peroxid	Tensid
Haftvermittler 1	25 % (Lieferant A)	58 % (EVA)	16 %	-	1 %
Haftvermittler 2	25 % (Lieferant A)	58 % (SB)	16 %	-	1 %
Haftvermittler 3	25 % (Lieferant A)	58 % (EVA)	15 %	1 %	1 %
Haftvermittler 4	59 % (Lieferant B)	-	37 %	2 %	2 %
Haftvermittler 5	25 % (Lieferant A)	58 % (PSBR)	16 %	-	1 %
Haftvermittler 6	69 % (Acrylat, Lieferant C)	-	30 %	-	1 %

Tab. 1: Zusammensetzung verschiedener Haftvermittler (EVA: Ethylen-Vinylacetat, SB: Styrol-Butadien, PSBR: Pyridin-Styrol-Butadien-Latex)
(Quelle: Collano AG)

keit beitragen können, dient das Peroxid der beschleunigten Vernetzung bei kurzen Vulkanisationszeiten. Um den Einfluss der Formulierung systematisch zu untersuchen, wurden sechs Varianten entwickelt und unter identischen Bedingungen geprüft **(Tab. 1)**.

Die Haftvermittler-Dispersionen wurden soweit mit Wasser verdünnt, dass nach dem Imprägnieren der Polyesterkords diese eine Imprägnierung von 250 ± 40 mg/Laufmeter Trockengewicht aufwiesen. Die Haftvermittler 1 bis 3 ergaben leicht klebrige Kords, die Haftvermittler 4 bis 6 trockene. Die RFL-Lösung und die Cokoon-Tauchlösung wurden wie in der Literatur angegeben aufgebracht. Anschließend wurden die imprägnierten Kords in einen peroxidvernetzenden EPDM-Kautschuk eingebettet. Die Vulkanisation der Prüfkörper erfolgte bei 160 °C während 30 min bei einem Druck von 35 bar.

Prüfung der Haftfestigkeit

Die Auszugsfestigkeit wurde sowohl bei 20 °C als auch bei 120 °C bestimmt. Während 20 °C die Haftung unter Standardbedingungen beschreibt, simuliert die Prüfung bei 120 °C typische Dauergebrauchstemperaturen. Sie erlaubt zudem eine Unterscheidung zwischen rein thermoplastischen Haftvermittlern und Systemen, die vor oder während der Vulkanisation chemisch vernetzen **(Tab. 2)**.

Ergebnisse und Diskussion

Erwartungsgemäß erreicht das etablierte RFL-System weiterhin die höchsten Auszugskräfte **(Tab. 2)**. Bemerkenswert ist jedoch, dass mehrere der neu entwickelten Haftvermittler bereits heute Werte erreichen, die zwischen RFL und dem kommerziell verfügbaren Cokoon-System liegen. Damit wird deutlich, dass ein vollständig RFL- und isocyanatfreier Ansatz technisch realisierbar ist.

Besonders interessant ist das Verhalten bei 120 °C. Mehrere eigene Formulierungen behalten einen deutlich größeren Anteil ihrer Haftfestigkeit als das Cokoon-System. Dies weist darauf hin, dass die Vernetzung während der Vulkanisation erfolgreich erfolgt und die Haftvermittlung auch unter erhöhten Einsatztemperaturen erhalten bleibt.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass vollständig RFL- und isocyanatfreie Haftvermittlersysteme heute technisch realisierbar sind. Neben dem Verzicht auf Resorcinol, Formaldehyd und Isocyanate eröffnen sich zusätzliche Potenziale zur Vereinfachung der Prozesskette, beispielsweise durch den Wegfall eines Pre-Dips oder eine lösemittelfreie Vorfixierung textiler Verstärkungen. Damit geht der vorgestellte Ansatz über einen reinen Stoffersatz, für mehr Umwelt- und Arbeitsschutz, hinaus und schafft einen konkreten Mehrwert für industrielle Anwendungen.

	Ausrisskraft 20 °C	Streuung	Ausrisskraft 120 °C	Streuung
RFL-Lösung	194 N	± 9 N	117 N	± 8 N
Cokoon-Tauchlösung	127 N	± 9 N	58 N	± 4 N
Haftvermittler 1	170 N	± 15 N	70 N	± 5 N
Haftvermittler 2	129 N	± 5 N	60 N	± 6 N
Haftvermittler 3	168 N	± 22 N	77 N	± 12 N
Haftvermittler 4	191 N	± 15 N	95 N	± 6 N
Haftvermittler 5	120 N	± 17 N	82 N	± 7 N
Haftvermittler 6	99 N	± 18 N	78 N	± 19 N

Tab. 2: Ausrisskraft bei verschiedenen Temperaturen (Quelle: Collano AG)

Noch ist die Entwicklung nicht abgeschlossen. Gummi ist kein einheitlicher Stoff, sondern umfasst eine weite Palette von Kautschuktypen, Füllstoffen und Vulkanisationssystemen. Lag der Fokus der initialen Entwicklungsarbeit auf peroxidvernetzendem EPDM-Gummi, so haben erste Versuche gezeigt, dass die Schwefelvulkanisation und unterschiedliche Gummitypen Anpassungen an die Formulierung erfordern. Es gilt jeweils, die chemische Kompatibilität und die unterschiedlichen Vulkanisationsparameter in Einklang zu bringen, ohne an der Haftvermittlung Kompromisse eingehen zu müssen.

Literatur

[1] (2005). Resorcinol Formaldehyde Latex (RFL) Adhesives and Applications. In: Resorcinol. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-28090-1_6

[2] M.Pelivan et al., Polymers 2025, 17(9), 1239; https://doi.org/10.3390/polym17091239

[3] https://www.ditf.de/en/index/current/press-releases/detail/replacement-of-toxic-chemicals-in-the-manufacture-of-tires-and-conveyor-belts/ (abgerufen am 26.6.26)

[4] https://www.jeccomposites.tv/composites-exchange-2025/michelin-resicare-araminolic-resins-a-new-safer-and-more-sustainable-alternative-to-phenolics-in-composite/ (abgerufen am 26.6.26)

[5] https://resicare.michelin.com/dipped-fabrics/ (abgerufen am 26.6.26)

[6] N.Cevahir et al, WO2014091376A1

[7] L.Grassi et al, WO2014091429A1

[8] T.Solomon, US4472463

[9] www.cokoon.com/en (abgerufen am 26.6.26)

[10] A. Louis et al., KGK, 03-2016, S. 30ff, Tabelle 2

[11] S. Bas et al, US10145034B2, Tabelle 1

[12] P. Frei et al, Patent angemeldet (EP Anmeldenummer: 25182543.6)