

Bestimmung von Strukturmerkmalen und Materialeigenschaften von stahlfaserverstärkten Reifen mittels Röntgen- und Ultraschallverfahren

Martin SPIES, Thomas REDENBACH, Hans RIEDER, Sabrina HERKT
Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern

Kurzfassung. Faser- und partikelverstärkte Verbundwerkstoffe zeichnen sich durch verbesserte Festigkeits- und Betriebseigenschaften im Vergleich zum unverstärkten Matrixwerkstoff aus. Das gilt auch für Reifen, bei denen unter anderem durch die Verwendung von Stahlfasern in uni- oder biaxialen Gelegen eine höhere Belastbarkeit erreicht wird. Heutzutage ist der Einsatz solcher Extra-Load-Reifen nicht mehr nur auf den LKW-Bereich beschränkt, sondern diese finden auch immer häufiger Anwendung im Marktsegment der Vans und SUVs. Da der Reifen alle äußeren Anregungen vom Boden an das Fahrzeug überträgt, spielt er bei der Gesamtsystemsimulation im Fahrzeug-Entwicklungsprozess eine entscheidende Rolle. Zur korrekten Beschreibung des Übertragungsverhaltens eingesetzte Reifenmodelle erfordern die Berücksichtigung der lokalen Eigenschaften wie Material, Geometrie und innerer Aufbau. In diesem Beitrag stellen wir Untersuchungen vor, die wir an Reifen verschiedener Hersteller mit dem Ziel einer effizienten Erfassung der Faserorientierung und der Charakterisierung der makroskopischen, zum Teil anisotropen Materialeigenschaften durchgeführt haben. Die mittels Ultraschalllaufzeitmessungen gewonnenen Informationen über die Faserorientierungen haben wir mit hochauflösenden Röntgen- und CT-Aufnahmen verglichen. Zur Bestimmung effektiver Materialparameter haben wir niederfrequente Ultraschallmessungen durchgeführt, d.h. mit im Vergleich zum Durchmesser der Stahlfasern großen Wellenlängen gearbeitet. Die so bestimmten Materialeigenschaften erlauben insbesondere den Einsatz reduzierter Strukturmodelle, die im Hinblick auf die Berechnungszeiten einen erheblichen Vorteil für die Reifen- und Fahrzeugsimulation bieten.

Bestimmung von Strukturmerkmalen und Materialeigenschaften von stahlfaserverstärkten Reifen mittels Röntgen- und Ultraschallverfahren

Martin Spies, Thomas Redenbach, Hans Rieder, Sabrina Herkt

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Fraunhofer-Platz 1, D-67663 Kaiserslautern, www.itwm.fraunhofer.de

Hintergrund

- verbesserte Festigkeits- und Betriebseigenschaften von stahlfaserverstärkten Reifen durch uni-/biaxiale Gelege
- steigender Einsatz von Extra-Load-Reifen (Lkw, Van, SUV)
- entscheidende Bedeutung der Reifen bei Simulationen im Fahrzeug-Entwicklungsprozess

Zielgrößen der Untersuchungen

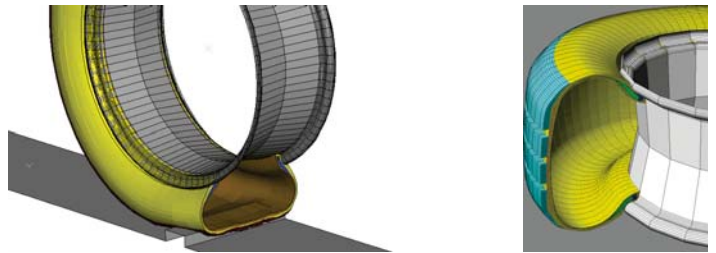
- Pkw-/Lkw-Reifen verschiedener Hersteller
- Erfassung der Faserorientierung
- Charakterisierung der makroskopischen, zum Teil anisotropen Materialeigenschaften

Messverfahren:

- hochauflösende Röntgen-CT
- niederfrequente Ultraschallmessungen

Reifenmodelle und Simulationen

- Reifen übertragen die Anregungen vom Boden auf das Fahrzeug
- effiziente Reifenmodelle zur Beschreibung des Übertragungsverhaltens
- Berücksichtigung der realen lokalen Eigenschaften:
 - Materialparameter (Gummi, Verstärkungen)
 - Geometrien, innerer Aufbau

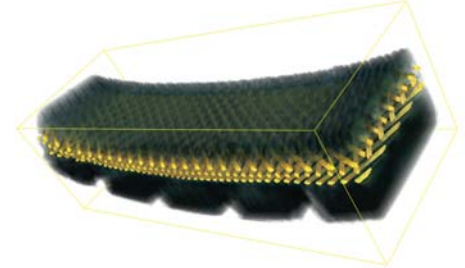


3D-Finite-Elemente-Modell eines Reifens mit Felge

Röntgen-Computer-Tomographie – Bestimmung der Strukturmerkmale



- untersuchtes Reifensegment (Größe 205/70R16)
- Dicke am Messpunkt: 23 mm
- Dicke der faserverstärkten Schicht (FVS): 5,5 mm



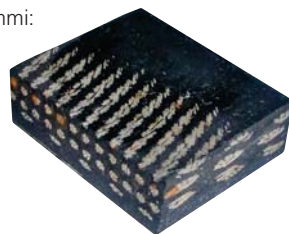
Visualisierung des Stahlgeflechts durch Bildverarbeitung: Identifizierung des verstärkten Bereichs, Segmentierung der Stahlfasern und Rekombination mit den CT-Daten

Ergebnis: Volumenverhältnis Stahlfasern vs. Gummimatrix in der verstärkten Schicht 2:1 => Volumenanteil der Stahlfasern 66 %

Ultraschall-Laufzeitmessungen – Bestimmung der Materialeigenschaften

Details

- Ermittlung der Schallgeschwindigkeiten am Reifensegment und an herausgetrennten Proben
- Longitudinalwellen, Frequenz 1 MHz
- Literaturwerte für Standardreifengummi:
 - Shore-Härte 60
 - Schubmodul $G = 0.9 \text{ GPa}$
 - Dichte $\rho_{\text{Gummi}} = 1.1 \text{ g/cm}^3$



FVS-Probe

Mischungsregeln

$$\rho_{\text{FVS}} = (1-x) \rho_{\text{Gummi}} + x \rho_{\text{Stahl}}$$

$$V_{\text{FVS}}^{\text{long}} = (1-x) V_{\text{Gummi}}^{\text{long}} + x V_{\text{Stahl}}^{\text{long}}$$

Ergebnisse

	Dichte	V^{long}	V^{trans}	G	E	v
Stahl	7.9	5900	3200	80.9	209.0	0.29
Gummi	1.1	1510	905	0.9	2.2	0.22
FVS	5.6	4437	2435	33.2	85.8	0.28

■ Literatur

■ gemessen

■ abgeleitet

- makroskopische Anisotropie in FVS vernachlässigbar
- Schallgeschwindigkeiten für den Verbund Gummi-FVS-Gummi
 - gemessen $V_{\text{Reifen}}^{\text{long}} = 2197 \text{ m/s}$
 - berechnet $V_{\text{Reifen}}^{\text{long}} = 2203 \text{ m/s}$

Zusammenfassung und Ausblick

- Vielfalt der verwendeten Gummimischungen und Stahlfaserkonfigurationen erfordert spezifische Betrachtung
- Bestimmung der Faseranordnung und des Fasergehalts durch hochauflösende CT und Bildverarbeitung
- Ermittlung der Materialparameter als Eingangsgrößen für vereinfachte Reifensimulationsmodelle
- Erweiterung durch Berücksichtigung der Dämpfungs- und Dispersionseffekte