



MATHEMATIK FÜR DIE FAHRZEUGENTWICKLUNG



DR. KLAUS DRESSLER
BEREICHSL EITER

DR.-ING. JOACHIM LINN
ABTEILUNGSLEITER



SIMULATIONSGESTÜTZTE ENTWICKLUNG UND PRODUKTIONSOPTIMIERUNG IN DER FAHRZEUGINDUSTRIE

Wir sind in den letzten Jahren stark gewachsen und haben dabei unser Anwendungsspektrum verbreitert. So wurden ausgehend vom Themenfeld Simulation von Kabeln und Schläuchen auch im Bereich der Digitalen Fabrik neue Anwendungsfelder erschlossen. Auf der anderen Seite haben unsere Werkzeuge VMC[®] und USim, die zunächst für Lastannahmen für die Betriebsfestigkeit entwickelt wurden, nun viele Anwendungen in den Aufgabenfeldern Energieeffizienz, Antriebsstrang und alternative Antriebe sowie Absicherung von ADAS/AD gefunden. Folgerichtig haben wir die Aktivitäten nun im neuen Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung (MF)« neu strukturiert. Der Bereich gliedert sich in die zwei Abteilungen Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten (DLU) und Mathematik für die digitale Fabrik (MDF), die Projektgruppe Reifensimulation und die Querschnittseinheit MF-Technikum, die sich um die Versuchs- und Messtechnik kümmert.

In der Abteilung Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten entwickeln wir Methoden und Werkzeuge zur Systemsimulation unter Einbeziehung von Umgebungsdaten und Nutzungsvariabilität. Damit adressieren wir die Fahrzeugentwicklungsattribute Betriebsfestigkeit, Zuverlässigkeit, Energieeffizienz und ADAS/AD. Passend dazu fokussieren wir unsere Aktivitäten zur Systemsimulation auf die Fahrzeug-Umwelt-Mensch-Interaktion und entwickeln Reifensimulationsmodelle und Methoden zur invarianten Systemanregung. Mathematik für die digitale Fabrik bündelt die Aktivitäten zur Entwicklung von Softwaretools für die virtuelle Produktentwicklung und Produktentstehung. Unser gemeinsam mit dem FCC in Göteborg entwickeltes Softwareprodukt IPS Cable Simulation unterstützt die virtuelle Auslegung, Optimierung und Absicherung für Montage und Betrieb von Kabeln, Kabelbäumen und Schläuchen. Darüber hinaus haben wir mit IPS IMMA ein digitales Menschmodell entwickelt, um Montageprozesse virtuell zu optimieren.

Kontakt

klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de

joachim.linn@itwm.fraunhofer.de

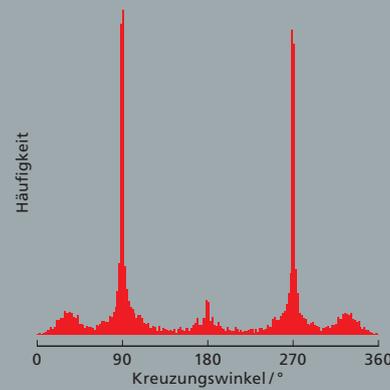
www.itwm.fraunhofer.de/mdf



SCHWERPUNKTE

- Dynamik, Lastannahmen und Nutzungsvariabilität
 - Betriebsfestigkeit und Zuverlässigkeit
 - Digitale Umgebungsdaten
 - HMI und Fahrsimulatoren
 - Nichtlineare Strukturmechanik / IPS Cable Simulation
 - Reifenmodelle – CDTire
-





1 Ausschnitt des Straßennetzes der Mannheimer Innenstadt mit dem auffällig quadratischen Muster

2 Histogramm der Kreuzungswinkel in Mannheim; die Kreuzungswinkel 90° und 270° sind hier sehr überdurchschnittlich ausgeprägt.

3 Durchschnittlichkeitsvergleich zwischen Aachen und Mannheim, bezogen auf einen Pool von 190 deutschen Städten; je größer ein Balken, desto durchschnittlicher die Eigenschaft. Die Winkelverteilung ist in Mannheim besonders fern vom Durchschnitt.

VMC® – STATISTISCH BEGRÜNDETE AUSWAHL VON REFERENZSTRECKEN UND REFERENZREGIONEN

Globale geo-referenzierte Daten spielen bei der statistischen Absicherung von Bemessungsgrundlagen und der Abschätzung des Verbrauchs in der Fahrzeugentwicklung eine wichtige Rolle: Sie können die bisher eingesetzten Methoden vor dem Hintergrund der großen Nutzungsveränderbarkeit im Fahrzeugbereich ergänzen bzw. unterstützen.

Das Softwarepaket Virtual Measurement Campaign VMC® ermöglicht die Simulation von Fahrzeugbeanspruchungen. Dazu vereint VMC Informationen des globalen Straßennetzes mit Algorithmen, die wir erarbeitet und weiterentwickeln. Eine wichtige Funktion von VMC ist die Regionalanalyse: Sie ermöglicht es dem Nutzer, einzelne Regionen auszuwählen, wie Städte oder Landkreise. Daraufhin kann er diese Gebiete anhand verschiedener Kenngrößen analysieren, welche für Verbrauch und Belastung relevant sind.

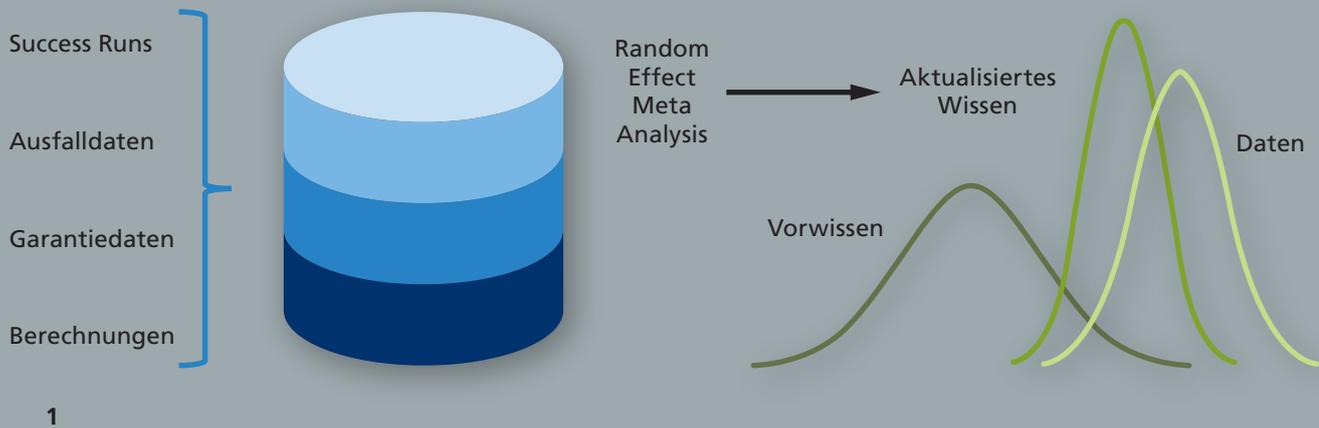
Virtuelles Stadtgebiet und reale Städte

In zwei Projekten forschten wir im letzten Jahr an Erweiterungen der Regionalanalyse. Kernfrage dabei war: Welche Städte sind für einen konkreten Anwendungsbereich besonders repräsentativ beziehungsweise überdurchschnittlich? Die beiden Projekte liefern unterschiedliche Motive für diese Fragestellung: zum einen die Erstellung eines repräsentativen virtuellen Stadtgebiets für Fahrzeugsimulatoren, zum anderen die Selektion geeigneter Städte für eine reale Messkampagne.

Für den Vergleich zwischen Städten betrachteten wir verschiedene Kategorien von Eigenschaften. Diese sind darüber definiert, wie eng eine Eigenschaft mit der erwarteten Beanspruchung zusammenhängt. Bergigkeiten oder Kurvigkeiten korrelieren beispielsweise sehr direkt mit der Fahrzeugbelastung und fallen in die Kategorie der Pseudobelastungsfaktoren. Das Erscheinungsbild des Straßennetzes mit seinen Kreuzungswinkeln oder die Bevölkerungsdichte einer Stadt beeinflussen hingegen die Belastungen nur indirekt und fallen in andere Kategorien.

Passende Kriterien für jede Anwendung

Pseudobelastungsfaktoren entwickelten wir aus etablierten Kenngrößen von VMC und deren Kombinationen. Sie können einfache Maßzahlen sein wie die Stoppereignisdichte, oder komplexe Objekte, wie die statistische Bergigkeitsverteilung. Für die Charakterisierung des Erscheinungsbilds eines Straßennetzes führten wir Faktoren wie die Verteilung der Kreuzungswinkel einer Stadt ein. Auf diese Weise können für die jeweilige Anwendung passende Kriterien formuliert und eine statistisch begründete Städteauswahl getroffen werden.



JUROJIN – NUTZUNG VON VORERFAHRUNG

Sicherheitsrelevante Bauteile in Fahrzeugen müssen auch Lasten durch anspruchsvolle Anwendungen zuverlässig überstehen. Auch lediglich 99prozentige Zuverlässigkeit erfordert auf statistischem Weg bereits eine Prüfung mehrerer Hundert Bauteile ohne Ausfall. In einem Projekt mit ZF bringen wir Vorwissen aus historischen Datensätzen mit ein und erhöhen so die Vorhersagegenauigkeit.

1 Schematischer Prozess zur Nutzung diverser Vorwissensquellen

Versucht man den großen Aufwand durch längere Prüfdauer oder höhere Lasten auf 5 bis 10 Bauteile zu reduzieren, wird die Freigabepfung weniger trennscharf: Nur Bauteile, die wesentlich besser sind als die Forderung, werden bestehen. Gleichzeitig liegt bei allen Herstellern Erfahrung vor: Man produziert ähnliche Bauteile bereits seit Jahren zu Tausenden erfolgreich in Serie. Bisher tat man sich schwer, die historischen Daten der Freigabepfung systematisch zu verwenden. Bei jedem einzelnen Datensatz musste ein Mensch beurteilen, wie gut dieser Datensatz auf die aktuelle Bauteilgeneration übertragbar ist. An Automatisierung war nicht zu denken.

Vorwissen aus historischen Datensätzen

In einem gemeinsamen Projekt mit ZF und dem Institut für Maschinenelemente (IMA) in Stuttgart haben wir ein Verfahren entwickelt und in Jurojin implementiert, welches aus beliebig vielen historischen Datensätzen automatisch ein einziges Vorwissen modelliert. Heftet man dieses Vorwissen mithilfe der Bayes'schen Statistik an kleinere Stichproben, entstehen Aussagequalitäten, die klassisch einen viel höheren Stichprobenumfang erfordert hätten. Damit lassen sich Freigabeprüfungen bereits jetzt deutlich effizienter gestalten. In Zukunft wollen wir beim Stichprobenumfang Einsparungen von 10 Prozent oder mehr zu erreichen.

Random Effect Meta Analysis

In den Prozess können viele Arten historischer Datensätze einfließen. Egal ob große oder kleine Stichproben, ob ausschließlich Durchläufer oder alle Bauteile bis zum Bruch getestet wurden: Das verwendete Verfahren der Random Effect Meta Analysis wird automatisch jedem Datensatz das richtige Gewicht zukommen lassen (abhängig von Stichprobengröße, Konsistenz der Stichprobe und Verträglichkeit mit den anderen Stichproben).

Jurojin unterstützt dabei den kompletten Prozess:

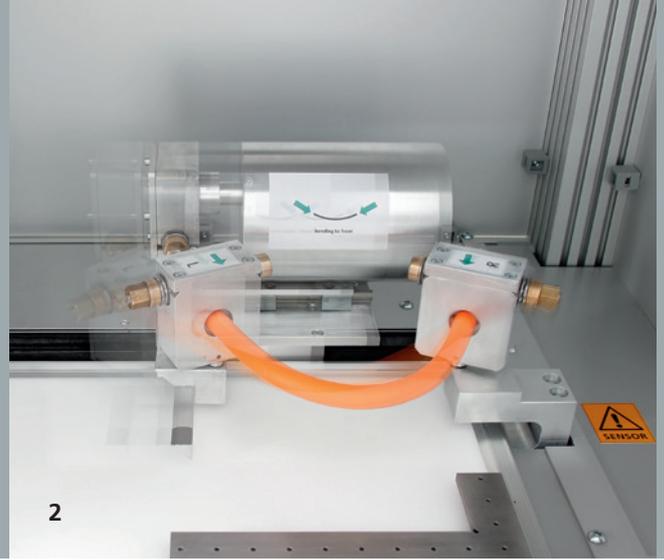
- Auswertung historischer Daten und Ablage in Datenbank
- Kombination viele Vorwissensquellen zu einer Beta-Verteilung
- Verwendung der Beta-Verteilung um im Versuchsplan Aufwand einzusparen





1

© fleXstructures



2

IPS CABLE SIMULATION UND MESOMICS® – SOFTWARE UND PARAMETER AUS EINER HAND

1 Fahrzeugmotor mit Kabeln und Schläuchen

2 MeSOMICS Biegeversuch

Kabel sind allgegenwärtig. Ob im Fahrzeug oder anderen technischen Produkten, überall bewegen sich Kabel und Schläuche mit und dürfen dabei keinen Schaden nehmen. Computersimulationen helfen die Verlegung von Kabeln zu optimieren und zwar schon lange, bevor Hardware-Prototypen verfügbar sind.

- Realitätsgetreue Ergebnisse erhält man jedoch nur, wenn zwei wesentliche Punkte erfüllt sind:
- Die Beschreibung der Kinematik und die Berechnung des mechanischen Gleichgewichts, d. h. die räumliche Kabelverformung, muss physikalisch korrekt sein.
 - Das Simulationsmodell muss die mechanischen Eigenschaften der Leitung gut abbilden.

Die von Fraunhofer ITWM und Fraunhofer Chalmers-Centre entwickelte Software IPS Cable Simulation erfüllt beide Kriterien. Außerdem gelingt die Berechnung interaktiv, d. h. Kabel und Schläuche werden in Echtzeit simuliert.

Schnelle Berechnung der Kabelverformung

Basis der kinematischen Modellierung bilden diskrete Cosserat-Kurven. Krümmungen und Dehnungen beschreiben hierbei die lokale Deformation. Zur Berechnung der Kabelverformung nutzt man, dass statische Gleichgewichtskonfigurationen lokalen Minima der potenziellen Energie des Kabels entsprechen.

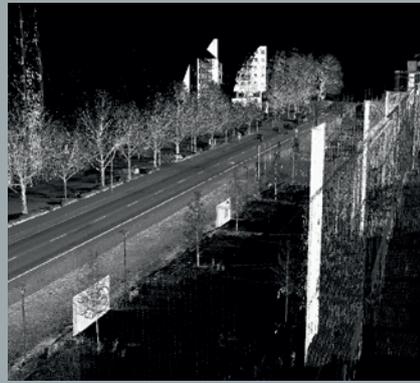
Für praktische Anwendungen der Software IPS Cable Simulation erweist sich der Ansatz eines linearen Materialmodells mit effektiven querschnittsintegrierten Steifigkeiten als besonders nützlich. Zum einen sind die numerischen Berechnungen damit sehr effizient und robust durchführbar. Zum anderen sind diese effektiven Steifigkeiten direkt messbar.

Mechanische Eigenschaften automatisch ermitteln

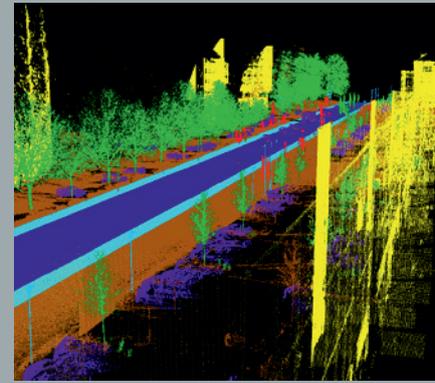
Speziell zu diesem Zweck wurde MeSOMICS® entwickelt. Das hochautomatisierte Messsystem beinhaltet einen innovativen Biegeversuch unter praxisrelevanten Krümmungen, einen Torsionsversuch sowie eine rechnerische Ermittlung der Zugsteifigkeit. Nach Einsetzen der Probe läuft die Messung inklusive Auswertung automatisch ab und liefert einen vollständigen Parametersatz für IPS Cable Simulation. Zudem sorgt die optische Überwachung für die robuste Ermittlung der Parameter. Kunden ist es somit möglich, eigenständig und innerhalb weniger Stunden Simulationsparameter für relevante Leitungen zu bestimmen.



1



2



3

VMC® ROAD-AND-SCENE GENERATOR: DIGITALE UMGEBUNGSDATEN FÜR DIE FAHRZEUGENTWICKLUNG

Die Entwicklung, Erprobung und Absicherung moderner Assistenz- und Automatisierungssysteme für Pkw und Nutzfahrzeuge ist so komplex wie nie zuvor. Mithilfe der VMC® Software-Suite erhalten Fahrzeugentwickler die Möglichkeit, den digitalen Zwilling mit der realen Welt zu verbinden.

Seit vielen Jahren beschäftigen wir uns mit der statistischen Analyse geo-referenzierter Daten zur Unterstützung und Verbesserung der virtuellen Erprobung und Auslegung von Fahrzeugen. Da die Assistenz- und Automatisierungsfunktionen, die in Fahrzeugen eingesetzt werden, immer komplexer werden, kommen klassische Erprobungs- und Auslegungsverfahren jedoch zunehmend an ihre Grenzen.

Aktuelle Ansätze etwa zur Beschreibung der Logik eines Straßennetzes versagen oft bei der Erfassung komplexer Randfälle, wie sie in der Realität allgegenwärtig sind. Darunter fallen z. B. unvollständige Fahrbahnmarkierungen oder schadhafter Asphalt. Reale Assistenzsysteme müssen allerdings auch bei fehlender Fahrbahnmarkierung einen sicheren Fahrzustand zu erreichen. Dies gilt es bereits im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen.

Reale Umgebungsdaten als Basis

Das derzeit am ITWM entwickelte Softwarepaket »VMC Road-and-Scene Generator« ermöglicht die virtuelle Entwicklung und Erprobung von Automatisierungssystemen auf Basis realer Umgebungsdaten. Der Prozess funktioniert folgendermaßen: Mittels traditioneller statistischer Methoden bestimmen wir eine repräsentative Stadt und erfassen sie anschließend mit dem institutseigenen Messfahrzeug REDAR als 3D-Punktwolke. Mit Techniken des maschinellen Lernens analysieren und klassifizieren wir anschließend die Messdaten; relevante Objekte wie z. B. Fahrzeuge, Fahrspuren, Fahrbahnmarkierungen, Gebäude etc. werden automatisch identifiziert.

Automatisierte Datenanalyse und -klassifikation

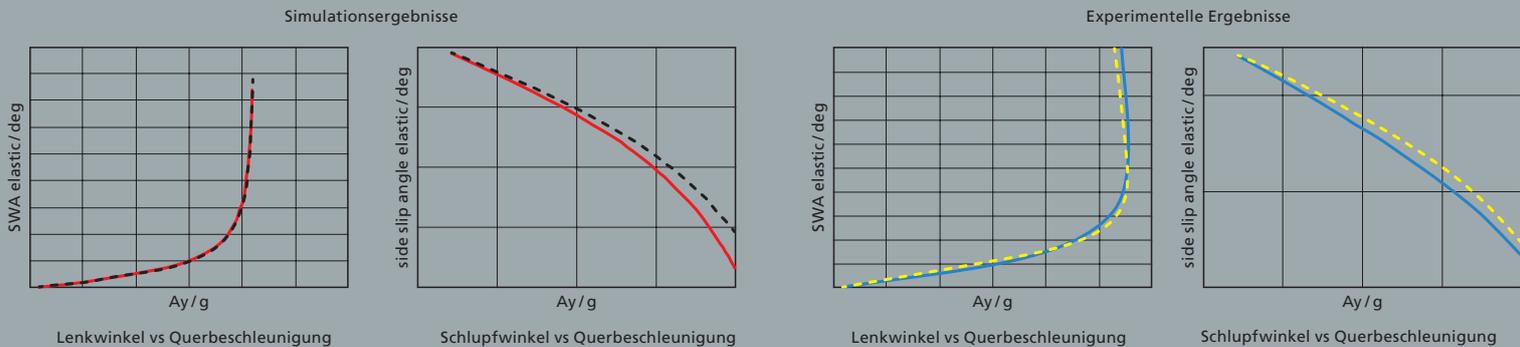
Diese Informationen liefern den entscheidenden Beitrag zu einer exakten Sensorsimulation, da nun für jedes Objekt und für jeden Messpunkt weitere Attribute wie z. B. Materialeigenschaften, Reflektions- und Absorptionseigenschaften für unterschiedliche elektromagnetische Wellenlängen etc. zur Verfügung gestellt werden können. Die Datenanalyse und Klassifikation läuft weitestgehend automatisiert ab, wodurch der Gesamtprozess hoch effizient wird.

1 *Foto der realen Szene (Trippstadter Straße, Kaiserslautern)*

2 *Georeferenzierter 3D-Laserscan der Umgebung*

3 *Automatische semantische Segmentierung und Klassifikation der Laserscannerdaten*





1

CDTIRE/3D: SIMULATION VON REIFENVARIATIONEN

1 *Vergleich unterschiedlicher Reifenmodelle: 235/60 R18 vorne und hinten (rot/blau) sowie 235/55 R19 auf der Vorderachse (schwarz) und 255/50 R19 auf der Hinterachse (gelb). Letztere Konfiguration wird als optimal angesehen.*

Simulationswerkzeuge tragen dazu bei, ein Produkt in kürzerer Zeit zur Serienreife zu bringen, ohne seine Qualität zu beeinträchtigen. Sie beschleunigen vor allem die Konzeptphase. In Zusammenarbeit mit verschiedenen Automobilherstellern betreiben wir großen Aufwand, um die Genauigkeit der Simulationsergebnisse in frühen Entwicklungsstadien zu verbessern. Vielversprechend ist derzeit die Morphing-Technologie, denn sie bietet Automobilherstellern bereits zu Beginn der Planung Zugang zu Daten vieler möglicher Reifen- und Radgrößen – insbesondere solcher, die (noch) gar nicht physikalisch existieren.

Der Reifen ist ein sehr wichtiger Faktor der Fahrleistungen eines Pkw. Mithilfe des Reifenmodells CDTire/3D wurde ein neuer Ansatz entwickelt, um die Eigenschaften eines Reifens ohne physikalischen Prototypen vorhersagen zu können. Zu den Fragen, die sich in der frühen Entwicklungsphase stellen, gehören die Wahl der Reifen- und Felgenreife, der optimale Reifendruck, wie nah man den gesetzten Zielen durch Veränderung des Reifens kommt und welche Rolle das Fahrzeug dabei spielt.

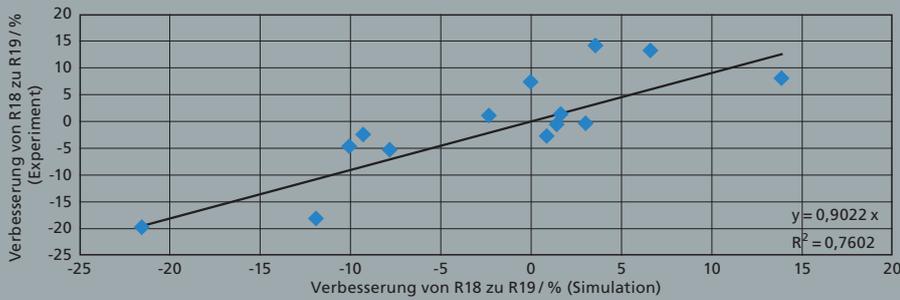
Geometrische Beschreibung des Reifens

Das Fraunhofer ITWM entwickelt das Reifenmodell CDTire/3D, das die Automobilindustrie für Komfort-, Zuverlässigkeits- und Fahrdynamikuntersuchungen verwendet. Es basiert auf einer Diskretisierung einer Schalenformulierung, in welcher die mit Materialparametern gegebenen funktionalen Lagen eines Reifens (wie Bandage, Gürtel und Karkasse) mit ihrer jeweiligen Geometrie zusammenfasst werden. Die Modellierung jeder einzelnen faserverstärkten Lage beinhaltet einen nichtlinearen Teil in der elastischen Komponente, resultierend aus unterschiedlichem Zug- und Druckverhalten. Die geometrische Beschreibung erlaubt große Verformungen.

Trennung von Material- und geometrischen Eigenschaften

Der Konstruktionsassistent nutzt die Querschnittsgeometrie unter Innendruck zur Parametrisierung des Reifens, basierend auf den Aufbaueigenschaften der funktionalen Lagen der Bandage, des Gürtels und der Karkassen. Da das Modell eine strikte Trennung zwischen Material- und geometrischen Eigenschaften aufweist, entwickelten wir eine Methode, um einen existierenden Reifen basierend auf Nennangaben zu verändern.

Der Morphing-Algorithmus passt die geometrische Beschreibung und Gewichtsverteilung des Referenzreifens an die Vorgaben (Reifenbreite, Reifenquerschnitt, Felgendurchmesser und Felgen-



2

breite) an, ohne die Materialeigenschaften zu verändern. So kann z. B. ein Reifen von einem 225/45 R17 (x7,5) in einen 235/40 R18 (x8) umgewandelt werden.

Innendruckvariation

Hervorzuheben ist ebenfalls die Wichtigkeit des Reifenluftdrucks als Einflussfaktor auf die Reifeneigenschaften. Die komprimierte Luft wirkt auf die Reifeninnenseite und belastet deren Struktur, insbesondere die lasttragenden Elemente der Kordlagen (Stahlgürtel, Karkasse und Bandage). Durch Applikation des Gasdrucks auf der ganzen Innenseite des Reifens (unter Verwendung verschiedener Gasmodelle wie der idealen Gasgleichung oder der kompressiblen Eulergleichung) kann das Reifenmodell CDTire/3D nicht nur die qualitativen Veränderungen bei Größenänderung eines bestehenden Reifens und der Felge, sondern auch unter Innendruckvariation genau beschreiben und vorhersagen.

Dieser Ansatz kann in der frühen Phase der Reifenentwicklung verwendet werden, um – ausgehend von einem Grundreifen – verschiedene Reifen- und Felgengrößen zu untersuchen. Voraussetzung ist allerdings, dass Materialien, Konstruktion und Profil gleich sind.

Vergleich von Simulation und Ergebnis

Zur Evaluierung haben wir die Vorhersage von Reifengrößenvariation mit den experimentellen Ergebnissen typischer Kriterien der Fahrdynamik verglichen. Dabei sind nur kleine Unterschiede zwischen gemessenem und vorhergesagtem Fahrzeugverhalten aufgetreten (siehe Abbildung 1). Dieser Ansatz kann also verwendet werden, auch wenn nicht viele Messungen verfügbar sind. Abbildung 2 zeigt die gemessene und simulierte prozentuale Verbesserung aller von einem Premium-Fahrzeughersteller für die Bewertung des Fahrzeug-Handlings verwendeten Kriterien (key performance indicator - kpi). Es ist zu sehen, dass die Vorhersage immer die gleiche Tendenz ausgibt.

Basierend auf diesen Ergebnissen scheint die Morphing-Technik von Reifen erfolgreich zu sein und hat Potenzial für die weitere Anwendung. Für zukünftige Projekte planen wir, kleine Änderungen des Reifenmaterials und des Aufbaus zu berücksichtigen.

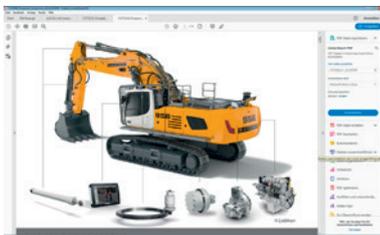
2 *Vergleich der prozentualen Verbesserung (gemessen und vorhergesagt) nach den Wechsel der Reifengröße; blaue Quadrate: key performance indicators*





NEWS AUS DEM BEREICH

5. INTERNATIONALES COMMERCIAL VEHICLE TECHNOLOGY SYMPOSIUM



Vom 13. bis 15. März 2018 fand das 5. Internationale Commercial Vehicle Technology Symposium auf dem Campus der TU Kaiserslautern statt. Begleitet von ca. 50 Fachvorträgen und 15 Posterpräsentationen diskutierten fast 200 nationale und internationale Fach- und Führungskräfte aus Wissenschaft und Industrie über Trends und technologische Entwicklungen der Nutzfahrzeugindustrie mit Fokus auf den Themenfeldern Energie- und Ressourceneffizienz, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Lebensdauer, assistiertes und automatisiertes Fahren und Arbeiten.

Die nächste Konferenz der Reihe, das 6. Internationale Commercial Vehicle Technology Symposium, findet vom 10. bis 12. März 2020 ebenfalls an der TU Kaiserslautern statt.



© Industrial Path Solutions Sweden AB

EMMA-CC SYMPOSIUM

Im April 2018 stellten alle am Fraunhofer-Forschungsprojekt EMMA-CC (www.emma-cc.com) beteiligten Institute ihre erzielten Ergebnisse vor. Ergänzt wurde dieses Experten-Symposium durch eingeladene Fachvorträge hochkarätiger Sprecher aus Wirtschaft und Forschung, in denen die Einsatzgebiete und der industrielle Bedarf digitaler Menschmodelle aus unterschiedlichen Blickwinkeln beleuchtet wurden. Zu den Vortragenden gehörten Prof. Lars Hanson (SCANIA AB; University of Skövde), Dr. Sascha Wischniewski (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA), Dr. Thomas Bär (Daimler AG) und Prof. Sigrid Leyendecker (Universität Erlangen-Nürnberg).

4. SYMPOSIUM DRIVING SIMULATION



Auf dem 4th Symposium Driving Simulation am 14. November 2018 wurden am Fraunhofer ITWM mit über 50 Teilnehmern aktuelle Herausforderungen im Bereich der virtuellen Entwicklung, Prüfung und Validierung von Systemen für automatisierte Fahrzeuge intensiv diskutiert. Der Praxisbezug des Symposiums wurde durch diverse Live-Demonstration der am ITWM verfügbaren Simulationstechnik (statische Fahrsimulatoren, VR-Labore, RODOS[®] etc.) unterstrichen.



Von vorne, links nach rechts: Tim Rothmann, Christine Biedinger, Björn Wagner, Canhui Wu, Dr.-Ing. Lilli Burger, Vanessa Dörlich, Dr. Jochen Fiedler, Dr. Michael Speckert, Dr.-Ing. Michael Roller, Dr. Klaus Dreßler, Thorsten Dahlheimer, Hannes Christiansen, Dr.-Ing. Michael Kleer, Thomas Stephan, Thomas Halfmann, Christine Rauch, Dr.-Ing. Joachim Linn, Steffen Polanski, Thorsten Weyh, Axel Gallrein, Dr. Fabio Schneider, Dr. Sascha Feth, Christoph Mühlbach, Jonathan Jahnke, Dr. Michael Burger, Simon Gottschalk, Benjamin Bauer, Marius Obentheuer, Thomas Jung, Tobias Ruhwedel, Dr. Stefan Steidel