



MATHEMATISCHE METHODEN IN DYNAMIK UND FESTIGKEIT



Bagger und Radlader bewegen viele Kubikmeter verschiedenster Materialien. Seit vielen Jahre helfen wir Volvo mit Simulationssoftware und Dienstleistungen bei der Optimierung der Betriebsfestigkeit, der Energieeffizienz und der Mensch-Maschine-Interaktion. Eine besondere Rolle spielen dabei unsere DEM-Simulationssoftware GRAPE und der Fahrsimulator RODOS®, der von Volvo seit Jahren regelmäßig zur Entwicklung von Assistenzsystemen genutzt wird.



SIMULATIONSGESTÜTZTE PRODUKTENTWICKLUNG IM FAHRZEUGBEREICH

Wir entwickeln effiziente daten- und physikbasierte Methoden für Betriebsfestigkeit, Zuverlässigkeit und Energieeffizienz. Mit dem Entwicklungsprojekt »Virtuelle Messkampagne« und den daraus abgeleiteten Produkten VMC® und USim kombinieren wir statistische und Simulationsmethoden mit georeferenzierten Datenbanken und stellen damit die Modellierung der Nutzungsvariabilität für die Fahrzeugentwicklung auf eine neue Grundlage. Passend dazu fokussieren wir unsere Aktivitäten zur Systemsimulation auf die Fahrzeug-Umwelt-Mensch-Interaktion. Wir entwickeln Reifensimulationsmodelle, Boden-Wechselwirkungsmodelle und Methoden zur invariante Systemanregung. Mithilfe unseres robotergestützten Fahrsimulators RODOS® untersuchen wir die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion und entwickeln Werkzeuge zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems).

Die mathematische Modellierung besonders stark deformierbarer Strukturen steht im Mittelpunkt unserer Simulationswerkzeuge für Reifen (CDTire) sowie für Kabel und Schläuche (IPS Cable Simulation). Mit CDTire ermöglichen wir die effiziente Simulation von Reifen zur Optimierung von Fahrdynamik, Betriebslasten und Fahrzeugkomfort. IPS Cable Simulation hat Kabel und Schläuche im Fokus: Deren virtuelle Auslegung, Optimierung und Absicherung für Montage und Betrieb werden in Echtzeit simuliert.

Kontakt

klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de

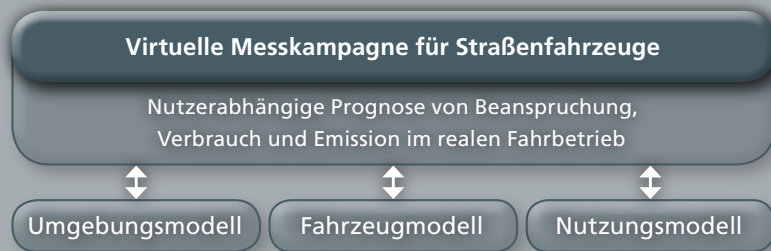
www.itwm.fraunhofer.de/mdf



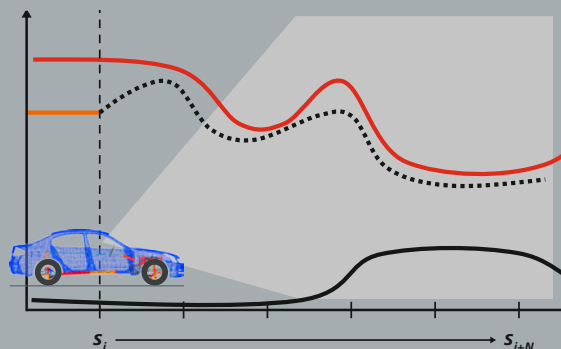
SCHWERPUNKTE

- Nutzungsvariabilität und Lastannahmen
 - Betriebsfestigkeit und Zuverlässigkeit
 - Systemsimulation
 - Human-in-the-Loop Fahrsimulator RODOS®
 - Nichtlineare Strukturmechanik
 - Reifenmodelle – CDTire
-





1



2

VMC® SIMULATION – REPRÄSENTATIVE PRÄDIKTION VON LASTDATEN UND ENERGIEVERBRAUCH

1 *Hauptkomponenten der Software-Suite VMC®*

2 *Strecken-, fahrzeug- und fahrerabhängige Geschwindigkeitsprofilbestimmung*

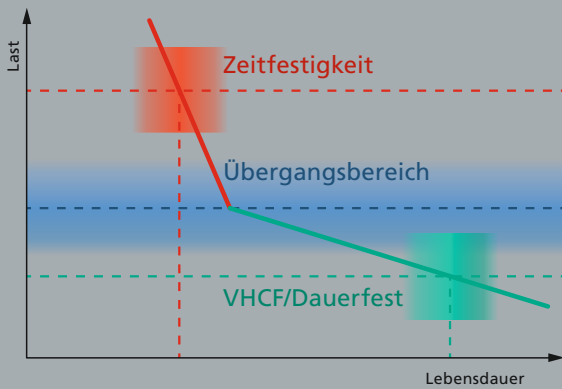
Wir beschäftigen uns seit vielen Jahren mit der Integration und Nutzung globaler georeferenzierter Daten im Entwicklungsprozess von Fahrzeugen. Daraus ist die Software-Suite Virtual Measurement Campaign (VMC®) entstanden. Ihr grundlegendes Ziel ist es, die regional stark variierende Nutzungsvervielfältigung und die hieraus resultierenden Streuungen in den Beanspruchungen und Leistungsanforderungen computergestützt zu analysieren und im Auslegungsprozess frühzeitig zu berücksichtigen.

Zuletzt wurden insbesondere im Modul VMC® Simulation einige substantielle Neuerungen konzipiert und implementiert. VMC® Simulation greift auf ein Modell der Welt zu, in dem u. a. das weltweite Straßennetz, Höhenprofile und Verkehrszeichen hinterlegt sind. Es werden vereinfachte Fahrzeugmodelle eingesetzt, um simulationsgestützt und prädiktiv fahrer- und fahrzeugspezifische Aussagen über Beanspruchung und Energieeffizienz bzw. Verbrauch von Fahrzeugen zu machen. Nach Festlegung einer oder mehrerer Routen und der Definition von Fahrer- und Fahrzeugeigenschaften wird im Kern durch ein Verfahren der numerischen Optimalsteuerung ein Geschwindigkeitsprofil bestimmt, aus dem Längs- und Querbewertung sowie Fahrwiderstände und Energiebedarf bzw. Verbrauch abgeleitet werden können.

Die Resultate werden im Bereich der Betriebsfestigkeit und Antriebsstrangentwicklung eingesetzt, aber auch um z. B. im Kontext realer Fahrverbrauchs- und Emissionsbestimmung einsetzgerechte Referenzstrecken abzuleiten.

Neue Entwicklungen mit MAN

In Projekten mit der MAN Truck & Bus AG wurden insbesondere verbesserte Antriebsstrangmodelle implementiert, die Aussagen über Motormoment, Drehzahl und Gangverteilungen auf ausgewählten Routen bzw. in bestimmten Regionen erlauben. Weiterhin wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, der eine Menge von Routen und Straßenabschnitten auswählt, die für eine Region hinsichtlich bestimmter Kriterien (z. B. vorkommende Steigungen) repräsentativ ist. In einem weiteren Schritt kann dann daraus eine möglichst repräsentative Route vorgegebener Länge bestimmt werden, die auch real fahrbar ist (Kampagnenplanung).



1



2

JUROJIN – STATISTISCHE AUSWERTUNG VON BETRIEBSFESTIGKEITSVERSUCHEN

Das Statistikprogramm JUROJIN wird für die Planung und Auswertung von Betriebsfestigkeitsversuchen entwickelt und gepflegt. Methodik und Programmgestaltung orientieren sich an Projekten und praktischen Problemstellungen aus der Fahrzeugindustrie. JUROJIN ist derzeit bei einer Reihe von Fahrzeugherstellern und Zulieferern im Einsatz.

Bevor Bauteile in Serie produziert werden, stehen für den Zuverlässigkeitsnachweis nur wenige und teure Prototypen zur Verfügung. Dennoch muss die Lebensdauer gerade für sicherheitsrelevante Bauteile zuverlässig nachgewiesen werden.

Zuverlässigkeitsnachweis ist teuer

Es ergeben sich typische Fragen darüber, wie viele Bauteile bis zu welcher Lebensdauer getestet werden müssen oder ob man besser viele kurze oder wenige lange Versuche durchführt. Zur Auswertung der geplanten Versuche müssen die Verfahren mit kleinen Stichprobenumfängen und Durchläufern (d. h. Versuche, die ohne Ausfall beendet wurden) umgehen können.

JUROJIN beantwortet diese Fragen durch verbesserte Varianten bewährter Methoden wie Maximum-Likelihood, Darstellung in Wahrscheinlichkeitsnetzen und Success Runs. Bootstrap-Verfahren korrigieren Fehler kleiner Stichproben und berücksichtigen alle Informationen aus zensierten Daten. 2017 haben wir das Jurojin-Modul Versuchsplanung auch für die Android-Plattform zur Verfügung gestellt. Neben der umfangreichen Desktop-Suite können damit die häufigsten der oben genannten Fragen in einer schlanken mobilen Lösung beantwortet werden.

Effiziente Wöhlermodelle

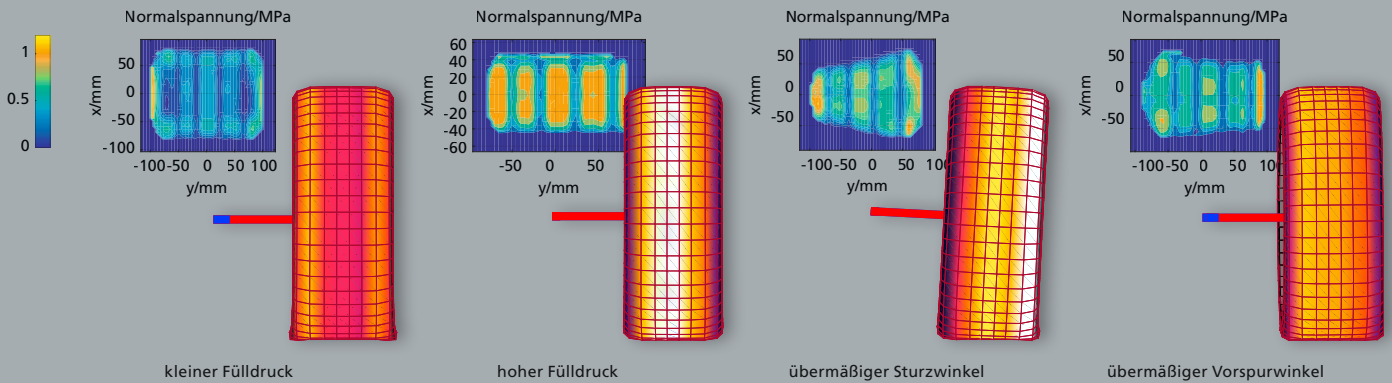
Bei zyklischen Bauteilbelastungen (Wöhlerversuche) ergibt sich bei mittleren bis hohen Lasten ein linearer Zusammenhang (im doppellogarithmischen Maßstab), Zeitfestigkeit genannt. Bei niedrigen Lasten beobachtet man oft ein Abknicken der Gerade auf einen fast horizontalen Verlauf. In diesem Dauerfestigkeitsbereich werden Lasten theoretisch »unendlich oft« (d. h. über eine Million Zyklen) ertragen. Klassisch wird hier eine Regression in Lastrichtung, also senkrecht zur Zeitfestigkeitsregression, für die Information {Bauteil fällt aus/Bauteil ist dauerhaft} durchgeführt.

Da man Zeit- und Dauerfestigkeitsdaten klassisch getrennt auswerten muss, verliert man Information. Ein von uns neu entwickeltes stochastisches Modell ermöglicht es nun, beide Bereiche gleichzeitig in JUROJIN auszuwerten.

1 *Kombiniertes Wöhlermodell*

2 *Screenshot der Versuchsplanung in Jurojin Mobile*





1

REIFENSIMULATION IM SPANNUNGSFELD VON FAHRDYNAMIK UND REIFENABRIEB

1 *Reifenabrieb bei unterschiedlichen Fahrwerkskonfigurationen*

Im Entwicklungsprozess für ein neues Fahrzeug spielt der Reifen eine zunehmend wichtigere Rolle. Dies gilt besonders im Bereich der Fahrdynamik. Dort wurden in den letzten Jahren enorme Fortschritte erzielt durch die Entwicklung neuer Achskonzepte, aber auch durch die symbiotische Einbeziehung der Reifenentwicklung in den Fahrwerksentwicklungsprozess.

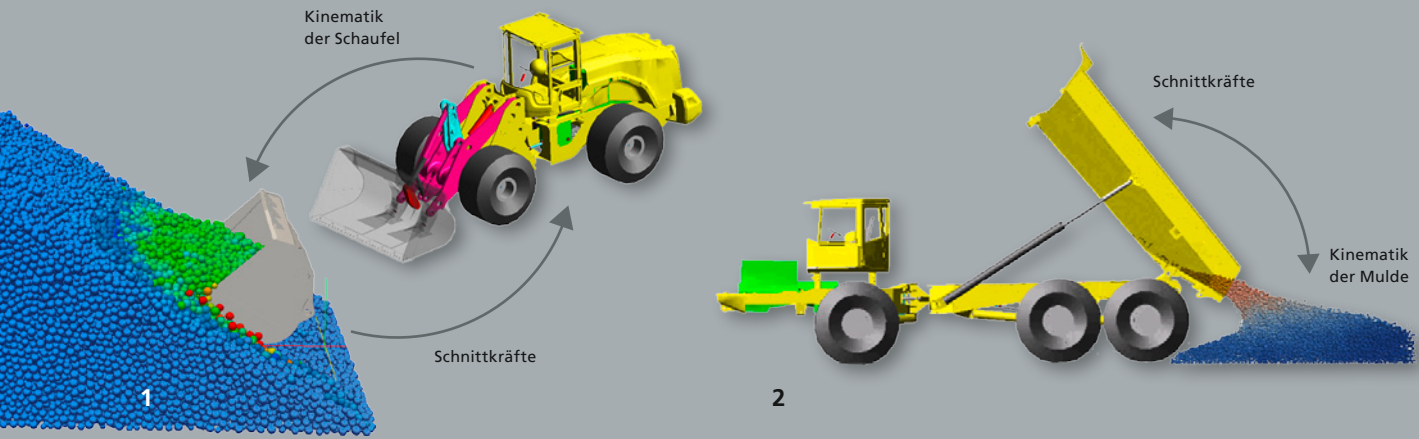
Ein sehr gutes Beispiel für die Symbiose Reifen/Fahrwerk ist die gleichzeitige Optimierung von fahrdynamischen Eigenschaften des Fahrzeugs und dem daraus resultierenden Reifenabrieb. Dieser entsteht durch die Reibung des Reifens an der Straßenoberfläche. Im Rollkontakt des Reifens ist diese Reibung, selbst beim frei rollenden Reifen, nie gänzlich zu vermeiden.

Ein geringer Abrieb beeinflusst die Führungseigenschaften des Reifens typischerweise negativ. Man versucht deshalb, sowohl Abrieb als auch Führungseigenschaften gleichzeitig zu optimieren und dafür zu sorgen, dass der Abrieb gleichmäßig über die Reifenbreite voranschreitet. Vor allem Vorspur und Sturzeinstellungen des Rades begünstigen einen ungleichmäßigen Reifenabrieb. Aber auch die richtige Wahl des Reifendruckes hat entscheidenden Einfluss auf den Abrieb. Dabei kann die Optimierung der Führungseigenschaften über Sturz und Vorspur durchaus im Widerspruch stehen zum optimalen Abriebverhalten.

Strukturelles Reifenmodell

Um in diesem Spannungsfeld eine optimale Lösung zu finden, werden in der frühen Fahrzeugentwicklungsphase zunehmend Gesamtfahrzeugsimulationen eingesetzt. Unser strukturelles Reifenmodell CDTire/3D bietet alle notwendigen Eigenschaften, um den Reifen in der Simulation zu berücksichtigen. Es berechnet nicht nur den lokalen Reifenabrieb, sondern analysiert auch die Kontaktfläche des Reifens in allen fahrdynamisch relevanten Manövern, auch abhängig vom Reifendruck.

Damit können einerseits bei spezifiziertem Reifen Fahrwerkeinstellungen im Spannungsfeld zwischen Reifenabrieb und fahrdynamischen Eigenschaften optimiert werden, andererseits wird die Auswahl der optimalen Reifendimension unterstützt.



BODENMODELL GRAPE IN DER VIRTUELLEN PRODUKTENTWICKLUNG FÜR VOLVO BAUMASCHINEN

Seit nunmehr über drei Jahren kooperieren wir mit Volvo Construction Equipment und konnten in dieser Zeit unsere Software GRAPE (GRAnular Physics Engine) für Partikelsimulation erfolgreich in den virtuellen Produktentwicklungsprozess bei Volvo integrieren und die Umsetzung stetig vorantreiben.

GRAPE ermöglicht es, sowohl nachgiebigen Boden als auch Erd- und Schutthaufen mit realitätsnahen Materialeigenschaften im Computer abzubilden. Die Kernfunktionalität von GRAPE liegt darin, eine Interaktion mit einem virtuellen Fahrzeug oder einer Maschine so abzubilden, dass die dabei vom Boden oder Haufen auf die Maschine rückwirkenden Kräfte realistisch vorhergesagt werden.

Implementierung einer Kraft-Weg-Kopplung

In enger Zusammenarbeit wurde eine Kraft-Weg-Kopplung zwischen Mehrkörpermodellen von Volvo Baumaschinen und GRAPE Materialmodellen innerhalb eines Co-Simulationsschemas implementiert. Innerhalb dieser Simulationsumgebung kann nun beispielsweise Volvos Radladermodell an einen virtuellen Erdhaufen heranfahren und wir erhalten dabei die beim Befüllen der Schaufel auftretenden Kräfte an Lagern und Gelenken der Ladegabel beziehungsweise Ladeschaufel.

Simulation entwicklungstypischer Wiederholungszyklen

Dank der Performanz unserer Software lassen sich auch entwicklungstypische Wiederholungszyklen solcher Manöver wie das Befüllen und Entleeren einer Radladerschaufel in angemessener Rechenzeit simulieren. Damit können insbesondere für den Entwicklungsprozess wichtige Aussagen und Prognosen über Festigkeitseigenschaften und Schädigungen wichtiger Bauteile des Radladers getroffen werden.

Darüber hinaus simuliert Volvo u. a. das Löschen eines knickgelenkten, mit Schutt und Geröll beladenen Muldenkippers unter Einbeziehung von GRAPE. Bei der Entladung des Fahrzeugs durch Anhebung der Mulde wirken aufgrund des Materialflusses Kräfte auf die Achsen und Reifen; diese können nun vorhergesagt werden und ermöglichen wichtige Rückschlüsse für den Entwicklungsprozess.

1 *Simulation der Wechselwirkung von Boden- und Radladermodell beim Befüllen der Schaufel*

2 *Simulation der Wechselwirkung von Schutt- und Muldenkippermodell beim Löschen der Ladung*





ERFOLGSSTORY

FAHRZEUG, UMGEBUNG, VERHALTEN: SIMULATION IN ECHTZEIT

»In der interaktiven Simulation mit RODOS für Baumaschinen und Nutzfahrzeuge sehen wir ein enormes Potenzial, um unsere Entwicklungs- und Erprobungsaktivitäten in Konz nachhaltig und gewinnbringend auszubauen.«

Martin Frank
AE Program Leader Machine
Intelligence & User Experience

Möglichkeiten und Ansprüche an die Simulation in der Fahrzeugentwicklung haben sich in den letzten 30 Jahren gravierend weiterentwickelt. Von der Bauteilsimulation über die Systemsimulation ganzer Fahrzeuge ist man inzwischen bei der zusätzlichen Berücksichtigung von Fahrer und Umwelt angelangt. REDAR und RODOS® unterstützen bei diesen neuen Herausforderungen im Entwicklungsprozess, angefangen bei der dreidimensionalen Umgebungserfassung bis zu Testfahrten im Fahrsimulator.

Woher kommen die Umgebungsdaten?

Das Messfahrzeug REDAR (Road & Environmental Data Acquisition Rover) erfasst bei normaler Fahrgeschwindigkeit mit zwei 360-Grad-Laserscannern hochgenau seine Umgebung. Nach der Messung kann auf dieser Datengrundlage ein dreidimensionales Abbild der Umgebung in Form einer Punktwolke rekonstruiert werden. Datenmengen von mehreren Terabyte sind dabei keine Seltenheit. Eine Verwendungsmöglichkeit von vielen ist z. B. die realitätsnahe 3D-Umgebungs-

darstellung in Fahrsimulationen. Ein solch komplexes Messsystem aufzubauen und die Daten durch entsprechende Algorithmen konsistent aufzubereiten, waren dabei die größten Herausforderungen. Das Messfahrzeug ist seit 2015 im Einsatz und sammelt fleißig Daten für einzelne Kundenprojekte.

Was passiert mit den Daten?

Unter anderem verarbeitet der ITWM-eigene Fahrsimulator RODOS® (Robot based Driving and Operation Simulator) die von REDAR gesammelten Messdaten als Simulationsinput und zur Visualisierung. Verschiedene Fahrzeugkabinen mit Bedienelementen wie beispielsweise Lenkrad, Gas und Bremse können auf dem verwendeten Sechssachsroboter angebracht werden. Beim interaktiven Durchfahren der virtuellen Welt bewegt der Roboter die Kabine so, dass Beschleunigungen, Bremsvorgänge oder das Fahren enger Kurven für den Fahrer möglichst realitätsnah erscheinen. Der Optimierung des Realitätsempfindens widmet sich derzeit sogar ein Psychologe in seiner Dissertation.





Das Straßennetz als Datenbank

Die Simulationen werden mit Informationen aus dem Datenbanksystem Virtual Measurement Campaign (VMC®) unterstützt. Dort ist das Straßennetz der Welt mit seiner Topographie, seinen Regularien, seinen Wetterinformationen und weiteren geo-referenzierten Daten hinterlegt. Mithilfe spezieller statistischer Verfahren können so die Szenarien, die als wichtig und repräsentativ angesehen werden, für detailliertere Untersuchungen mit REDAR und RODOS® herausfiltert werden. Die Verknüpfung beider Welten ist ein wichtiger Schritt, um effizient und zielgerichtet Erprobungsszenarien für die Entwicklung von Straßenfahrzeugen zu definieren. Aktueller Forschungsstand ist die Definition von Referenzstrecken bzw. die Suche nach der idealen Erprobungsumgebung: Gibt es z. B. eine reale Stadt, die für wichtige Erprobungsaspekte eine repräsentative Mischung aus ganz unterschiedlichen Städteszenarien darstellt?



*Mit REDAR auf großer Fahrt:
360-Grad-Laserscanner erfassen die Umgebung
hochgenau.*

Neben der virtuellen Erprobung von Fahrerassistenz- oder autonomen Systemen erlaubt diese Entwicklungsumgebung auch eine einfachere und flexiblere Untersuchung von Schadstoffemissionen: Realitätsnah können unterschiedlichste Prüfzuszenarien zuerst kategorisiert und anschließend gewichtet bzw. verglichen werden.

VMC®, REDAR und RODOS® stellen eine flexible und universell einsetzbare Werkzeugkette dar, um die Interaktion zwischen Mensch, Fahrzeug und Umwelt zu beschreiben und in einem weiteren Schritt das Systemverhalten vorherzusagen.

Technische Daten RODOS®

- Entwicklungs- und Bauzeit: 2009 – 2012
- 18 Projektoren für Rundumsicht im Projektionsdom mit einem Durchmesser von 10 Metern
- Auflösung 11520 x 3600 Pixel
- sechssachsiger Industrieroboter ermöglicht großen Bewegungsspielraum und große Kippwinkel
- austauschbare Kabinen (derzeit: Bagger, Pkw, Traktor)
- Nutzlast 1000 kg

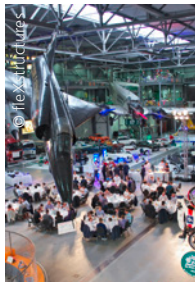




NEWS AUS DER ABTEILUNG

WELTWEITES INTERESSE AN IPS CABLE SIMULATION

In modernen Produkten finden sich Unmengen an Kabeln und Schläuchen. Um die Verlegung dieser Komponenten schon in der Produktentwicklung komfortabel zu optimieren, werden Simulationen genutzt. Die vom Fraunhofer-Chalmers Centre in Göteborg und unserem Institut entwickelte Software IPS Cable Simulation ist das weltweit führende Werkzeug für diesen Aufgabenbereich und gewinnt zunehmend neue Anwender. Unsere Ausgründung fleXstructures GmbH kümmert sich um den Vertrieb von IPS Cable Simulation und begeisterte allein im vergangenen Jahr 25 Neukunden für unsere Software-Lösung.



3. Internationale IPS Cable Simulation User Conference

IPS-Anwender aus der ganzen Welt trafen sich im Juni 2017 zur dritten IPS Cable Simulation User Conference im Technikmuseum Speyer. Über 90 Teilnehmer aus den USA, Asien und Europa regten zu interessanten Diskussionen an. Beiträge von Adam Opel, BMW, Delphi, fleXstructures, Fraunhofer ITWM, Fraunhofer-Chalmers Centre, Komatsu, SCANIA, techViz, Volkswagen und Volvo Cars präsentierten neue Anwendungen, Anforderungen und Entwicklungen aus Industrie und Forschung.

Eine Ankündigung von BMW macht die Wertschätzung von IPS Cable Simulation besonders deutlich: Passend zum 100. Unternehmensjahr knackt der Automobilhersteller die Marke von 100 IPS Cable-Simulation-Anwendern.



Eigenständige Konferenzen in China und Japan

Die zweite chinesische IPS Technologie-Konferenz fand in Shanghai statt. 80 Vertreter aus der Automobil- und Zulieferbranche, der Luft- und Raumfahrt, der Schienenfahrzeugindustrie sowie Forschung besuchten die von unserem chinesischen Vertriebspartner Pan-i organisierte Veranstaltung.



Mehr als 100 Teilnehmer aus unterschiedlichsten Bereichen der Industrie begrüßte unser japanischer Distributor SCSK zur zweiten japanischen IPS Cable Simulation User Conference in Tokio. Sie verfolgten mit großem Interesse Fachbeiträge von SCSK und praktische Anwendungsfälle von japanischen Kunden.



Von vorne, links nach rechts: Vanessa Dörlich, Francesco Calabrese, Christine Biedinger, Dr.-Ing. Michael Roller, Dr. Klaus Dreßler, Caroline Wasser, Dr.-Ing. Joachim Linn, Dr. Michael Burger, Dr. Jochen Fiedler, Eduardo Pena Vina, Tim Rothmann, René Reinhard, Hannes Christiansen, Dr. Andrey Gizatullin, Dr. Fabio Schneider, Dr.-Ing. Michael Kleer, Steffen Polanski, Björn Wagner, Thomas Halfmann, Thomas Stephan, Christoph Mühlbach, Thorsten Weyh, Christine Rauch, Dr. Michael Speckert, Dr. Sascha Feth, Axel Gallrein, Dr. Stefan Steidel, Thomas Jung, Simon Gottschalk