



DR. KLAUS DRESSLER
BEREICHSLIMITER

DR.-ING. JOACHIM LINN
ABTEILUNGSLEITER



SIMULATIONSGESTÜTZTE ENTWICKLUNG UND PRODUKTIONSOPTIMIERUNG IN DER FAHRZEUGINDUSTRIE

Der Bereich gliedert sich in die zwei Abteilungen Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten (DLU) und Mathematik für die digitale Fabrik (MDF), die Projektgruppe Reifensimulation (CDTire) und die Querschnittseinheit MF-Technikum, die das Simulatorlabor mit RODOS und das Messfahrzeug REDAR betreibt und sich um alle Versuchs- und Messtechnikaufgaben des Bereichs kümmert.

In der Abteilung Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten entwickeln wir Methoden und Werkzeuge zur Datenanalyse und Systemsimulation. Dabei setzen wir auf eine problemadäquate bestmögliche Kombination von physikbasierter und datenbasierter (KI, ML) Modellierung. Besonderes Augenmerk gilt der Einbeziehung von digitalen Umgebungsdaten und der Simulation der Nutzungsveränderbarkeit. 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.

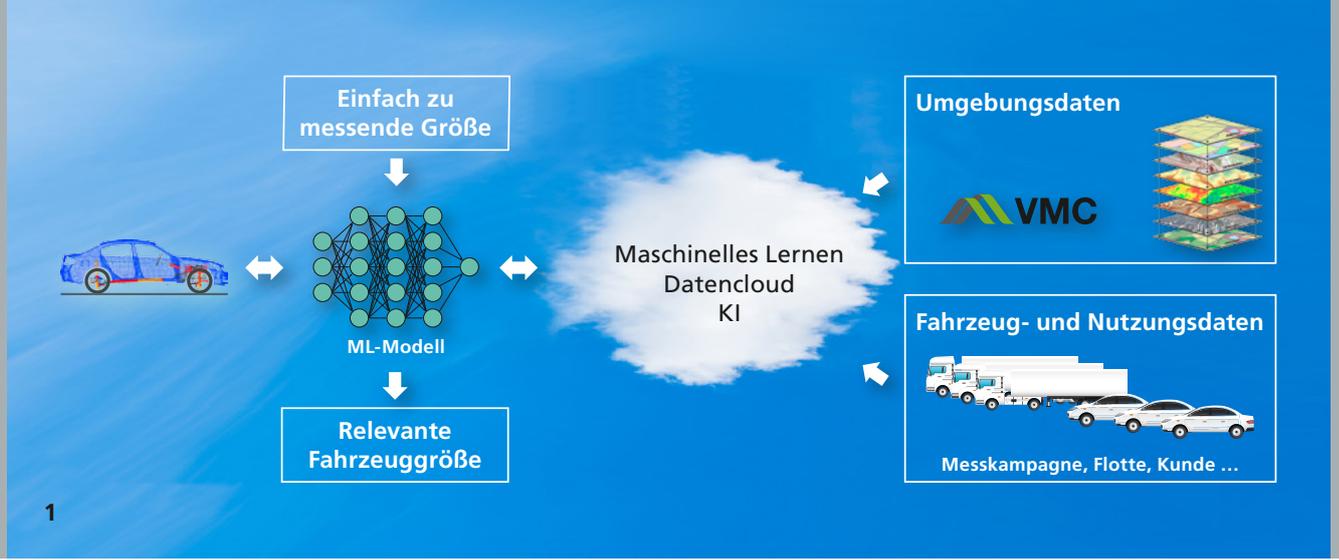
Kontakt

klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de
joachim.linn@itwm.fraunhofer.de
www.itwm.fraunhofer.de/mdf

SCHWERPUNKTE

- Dynamik und Systemsimulation
 - Lastdaten und Betriebsfestigkeit
 - Datenanalyse, künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen
 - Reifensimulation – CDTire
 - Menschmodelle und Mensch-Maschine-Interaktion
 - Technikum: HMI und Fahrsimulatoren
 - Kabel, Schläuche und flexible Strukturen
-





1

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UND MASCHINELLES LERNEN IN DER FAHRZEUGENTWICKLUNG

1 *Umgebungsdaten, Fahrzeugdaten und Modelle unterstützen die Entwicklung moderner Fahrzeuge und ihren Betrieb*

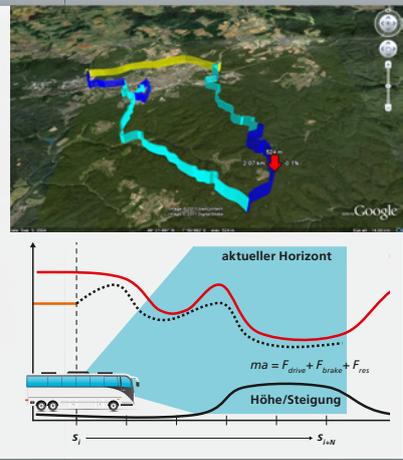
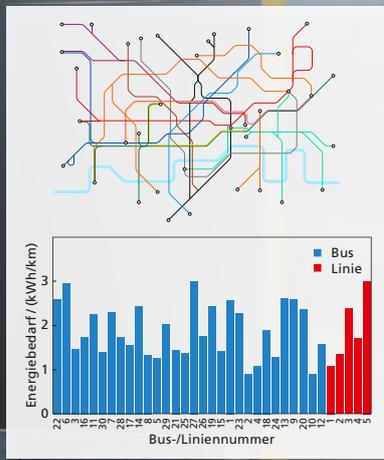
Im Fahrzeugbereich nimmt die Verfügbarkeit von Daten seit Jahren stark zu; dies betrifft neben direkt am Fahrzeug gemessenen Größen auch Umgebungsdaten. So existieren historische Messungen aus Kampagnen, und zusätzlich zeichnen moderne Fahrzeuge im Betrieb zunehmend Daten kontinuierlich auf. Auch Technologien zur Datenerfassung, Datenverwaltung und zur rechnerischen Datenverarbeitung haben sich stetig verbessert und weiterentwickelt. Beides ermöglicht es, mit geeigneten Verfahren und Werkzeugen der datenbasierten Mathematik, der Künstlichen Intelligenz (KI) und des Maschinellen Lernens (ML) aus vorhandenen Datenmengen immer mehr wertvolle Erkenntnisse und Informationen zu gewinnen – und diese frühzeitig im Entwicklungsprozess einzusetzen.

Das konkrete Anwendungsfeld solcher Methoden und Techniken ist dabei reichhaltig und vielfältig. So können beispielsweise trainierte ML-Modelle vorhandene Simulationstools ergänzen bzw. deutlich effizienter machen. Andere wichtige Bereiche sind Systeme zur Maschinenüberwachung (Monitoring und Predictive Maintenance) sowie Regelsysteme direkt am Fahrzeug (z. B. ADAS/AD-Systeme) oder auch am Prüfstand.

Erkennung von Nutzungsszenarien aus Fahrzeugdaten

Für den Entwicklungsprozess ist es von besonders großem Interesse, möglichst genaue Kenntnis über die tatsächliche Nutzung eines Fahrzeugtyps zu haben, um beispielsweise Auslegungsziele und Erprobungskriterien festzulegen. Typische Quellen solcher Informationen sind historische Erkenntnisse sowie Schätzungen auf Basis von Vertrieb und Verkauf; diese Informationen können jedoch sehr unsicher sein und sind oft auch nicht direkt auf den tatsächlichen Maschinenbetrieb abgestützt.

Wir setzen an dieser Stelle einen ML-basierten Detektionsalgorithmus ein, der die Nutzungsart (z. B. ‚Graben‘ beim Bagger), basierend auf Maschinen- bzw. Fahrzeugdaten, identifiziert. Am Fahrzeug oder an der Maschine aufgezeichnete Daten werden entweder in aggregierter, grober Form gespeichert oder in regelmäßigen Abständen an eine Cloud gesendet. Ist ein entsprechendes ML-Modell trainiert, können – angewandt auf Maschinendaten – sehr genaue regionen- und kundengruppenspezifische Nutzungsprofile erstellt werden.



© freepik.com

1

ENERGIEBEDARFSANALYSE FÜR BUSSE IM LINIENNETZ

Seit vielen Jahren beschäftigen wir uns mit der Synthese von Messdaten, geografischen Daten und Fahrzeugsimulation in den Bereichen Zuverlässigkeit, Betriebsfestigkeit und Energieeffizienz. Dabei adressieren wir bisher hauptsächlich die Entwicklungsabteilungen von Fahrzeugherstellern. Die hier am Beispiel von Bussen auf einem gegebenen Liniennetz vorgestellten Methoden können aber auch bei den Betreibern von Fahrzeugflotten eingesetzt werden, etwa um das Potential für den Einsatz von E-Fahrzeugen zu bewerten.

1 *Energieanalyse aus der Kombination von geografischen Daten, Liniennetzplan und Simulationsmodellen*

Betrachten wir ein Busliniennetz eines Betreibers bzw. eines möglichen Kunden des Fahrzeugherstellers, so können wir mithilfe der geografischen Daten und geeigneten Auswertemethoden die Linienverläufe hinsichtlich energierelevanter Größen analysieren. Dafür nutzen wir die Toolbox Virtual Measurement Campaign VMC[®], eine georeferenzierte Datenbank mit einer vielfältigen Palette von Analyseverfahren. Energierelevante Größen sind beispielsweise die erwartete Anzahl von Stoppereignissen (Bushaltestellen, Ampeln usw.), die Verkehrsdichte oder der Höhenverlauf und die korrespondierenden Steigungen.

Bewertung und Vergleich von Buslinien

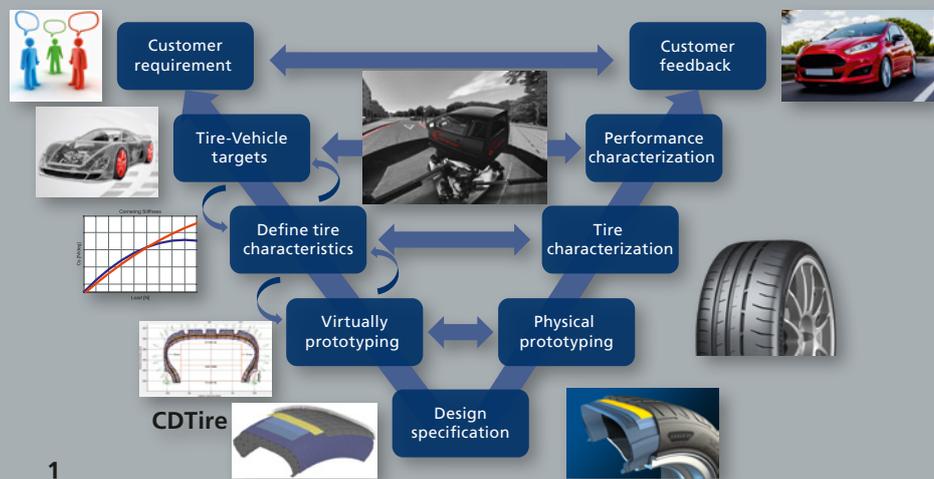
Jede Buslinie kann so bewertet und mit anderen Linien verglichen werden, ebenso natürlich die gesamten Liniennetze in verschiedenen Städten. Mithilfe unserer VMC-Fahrzeugmodelle simulieren wir den Energiebedarf – hier als reinen Fahrbedarf »am Rad«, ohne die Verluste im Triebstrang oder Nebenverbraucher wie Klimaanlage, Lenkung, Türen). Falls vorhanden, setzen wir auch am Fahrzeug direkt ermittelte Messdaten ein oder kombinieren Messung und Simulation.

Rückkopplung mit der Einsatzplanung

Verbinden wir diese Ergebnisse nun mit Daten aus der Einsatzplanung der Busse, so können wir die Verteilung des zu erwartenden Energiebedarfs der Busse berechnen. Die oben dargestellte Skizze illustriert diesen Prozess. Auf diese Weise bewerten wir einen möglichen Einsatz von E-Bussen auf dem vorhandenen Streckennetz unter der gegebenen Einsatzplanung; wir können aber auch die Einsatzplanung aufgrund von Leistungsdaten eines neuen Busses anpassen. Zur Ableitung von Teststrecken führen wir entsprechende Auswertungen für einzelnen Linien durch und setzen diese mit den Busdaten in Beziehung.

Weitere Anwendungsbeispiele sind die Optimierung der Triebstrangkonfiguration oder die generelle Eignung eines Antriebskonzeptes für ein gegebenes Anwendungsszenario.





CDTIRE IM EINSATZ BEI GOODYEAR

1 Entwicklungsmodell Reifen

Der Reifenhersteller Goodyear nutzt seit einigen Jahren unsere Software-Suite CDTire als Reifenmodell in der virtuellen Vorentwicklung bis hin zum Einsatz für subjektive Reifen-/Fahrzeugbewertungen durch professionelle Testfahrer am Fahrsimulator. Goodyear zieht eine durchweg positive Bilanz unserer Zusammenarbeit.

Trotz großer Fortschritte im Bereich von Fahrzeugsimulationen werden noch viele Labor- und Fahrzeugtests herangezogen, um Simulationsstudien zur Neuentwicklung von Reifen zu validieren. Diese Tests bedeuten jedoch einen hohen Zeit- und Kostenaufwand. Ein Grund für den Einsatz dieser aufwändigen Reifencharakterisierungsprogramme liegt darin, dass die meisten Reifenmodelle, die sich für Fahrzeugmodell-Simulationen eignen, nach wie vor Messungen an realen Reifen zur Parametrisierung erfordern. Ein potentieller Vorteil der Verwendung physikalischer oder weitgehend physikalischer Reifenmodelle wie CDTire ergibt sich deshalb aus deren Eigenschaft, Modellparameter mit definierter physikalischer Bedeutung zu nutzen. Diese ermöglichen es, den Aufwand an Tests und Parameterisierungsschritten zu minimieren. Gleichzeitig erlauben diese physikalisch motivierten Modellparameter eine Modifikation der intrinsischen Reifeneigenschaften zur gezielten Abtastung des Entwicklungsspielraums.

Reifenmodell mit Messungen validiert

Goodyear verwendet erfolgreich die Modellfamilie CDTire zur virtuellen Untersuchung des Designraums bei der Reifenvorentwicklung. Dies wurde in einem gemeinsamen Projekt von Goodyear und unserer Gruppe bestätigt. Dabei haben wir zunächst CDTire/3D als Referenzreifenmodell mit Messungen an einem konkreten Reifen validiert. CDTire/3D ist ein Reifenmodell, das aus mechanischen und physikalischen Elementen mit vordefinierter räumlicher Auflösung besteht.

Bewertung durch professionelle Testfahrer

Im Projekt wurde gezeigt, dass bei systematischer Änderung der strukturmechanischen Elemente eine typische Erfassung des Entwicklungsraums erzielt werden kann. Wird dieser Prozess in den Bereich der Fahrzeugentwicklung übertragen, ist es möglich, Gesamtfahrzeugsimulationen mit den virtuell erzeugten Reifenmodellen durchzuführen und zu analysieren, wie sich diese Reifenmodelle auf die Fahrleistungen auswirken. Abschließend wurden die CDTire/3D-Reifenmodelle dieser Studie in Echtzeitmodelle transformiert, um eine Driver-in-the-loop-Bewertung auf einem Fahrsimulator zu ermöglichen. Als Ergebnis dieser Echtzeitmodell-Untersuchungen entstanden subjektive Reifen-/Fahrzeugbewertungen von professionellen Testfahrern, die mit den Erwartungen aus objektiv ermittelten Fahrleistungen verglichen wurden.



1



2



3

VERNETZTE FUSSGÄNGER- UND FAHRZEUGSIMULATOREN FÜR DIE FAHRZEUGENTWICKLUNG

Die Interaktion zwischen Fußgängern und Fahrzeugen spielt für die Sicherheit im Straßenverkehr eine wesentliche Rolle. Auch für die Entwicklung und Prüfung von Fahrassistenzsystemen ist es wichtig, das Verhalten von Fußgängern einschätzen zu können. Durch die Vernetzung eines Fußgängersimulators und eines hochwertigen Fahrssimulators untersuchen wir die Kommunikation zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern unter sicheren, kontrollierten und wiederholbaren Bedingungen.

Simulatoren für Fußgänger und Autofahrer

Wir setzen virtuelle Realitätstechnologie ein, um eine Person in die Rolle eines Fußgängers zu versetzen. Durch ein Ganzkörpertracking kann diese Person sich natürlich in der computergenerierten Umgebung bewegen und auf typische Verkehrssituationen reagieren. Zeitgleich wird ihr Verhalten aufgezeichnet und auf den Körper eines virtuellen Menschen übersetzt. Eine weitere Person übernimmt im Fahrssimulator RODOS® (Robot based Driving and Operation Simulator) die Kontrolle über ein virtuelles Fahrzeug, in dem der Fahrer per Videoaufzeichnung für den Fußgänger auch zu sehen ist.

Durch die Verschaltung der beiden Simulatoren treffen Fußgänger und Fahrer auf der virtuellen Straße aufeinander. Dieser Aufbau erlaubt es, das Verhalten von Fußgängern und Fahrern in Reaktion auf sich realistisch verhaltende Verkehrsteilnehmer zu betrachten und zugleich auch die Kommunikation zwischen ihnen abzubilden und zu erforschen.

Simulatorstudien mit mehreren Verkehrsteilnehmern

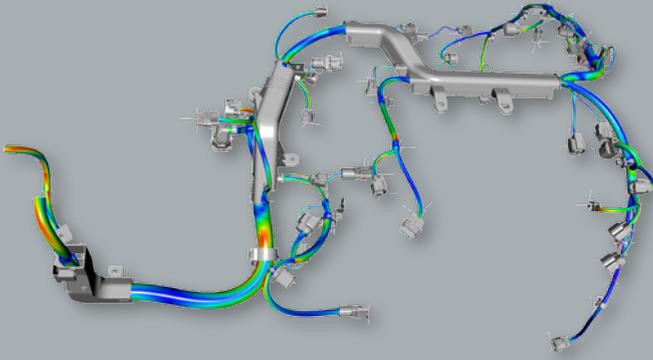
Im letzten Jahr verglichen wir insbesondere die Reaktion von Fußgängern auf menschliche Fahrer mit ihrer Reaktion auf autonome Fahrzeuge. Hierzu gehört die Fähigkeit von Fußgängern, hochautomatisierte Fahrzeuge bereits anhand ihres Fahrverhaltens von menschlichen Fahrern zu unterscheiden, sowie die Veränderungen im Verhalten der Fußgänger, wenn sie erkennen, dass sie es mit autonomen Fahrzeugen zu tun haben. Der sicherheitsbedachte, defensive Fahrstil autonomer Fahrzeuge kann Fußgänger dazu verleiten, selbst riskanter zu agieren.

Ergebnisse aus Simulatorstudien, welche die Perspektive mehrerer Verkehrsteilnehmender bedenken, geben neue Impulse und eine gesicherte Datengrundlage für die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen und Fahrassistenzsystemen.

1 + 2 *Interaktion zwischen einem Fußgänger und einem Autofahrer in vernetzten Simulatoren*

3 *Virtuelle Realität-basierte Fußgängersimulation: Übersetzung natürlicher Bewegung auf einen Avatar*





1

© fleXstructures GmbH



2

© KARL STORZ SE & Co. KG

THREAD – MODELLIERUNG UND SIMULATION FLEXIBLER STRUKTUREN FÜR INDUSTRIEANWENDUNGEN

1 *Mechanisches Layout eines Kabelbaums in IPS Cable Simulation*

2 *Gastroskop mit zwei Arbeitskanälen*

Im Rahmen des von der EU geförderte Doktorandennetzwerks »THREAD – Joint Training on Numerical Modelling of Highly Flexible Structures for Industrial Applications« arbeiten 14 Nachwuchsforschende an zwölf Universitäten und Forschungseinrichtungen aus acht europäischen Ländern an der Aufgabenstellung, dünne flexible Strukturen wie Seile, Kabelbündel und Schläuche zukünftig besser zu modellieren und im Computer simulieren zu können.

Das Einsatzspektrum der in THREAD entwickelten Simulationsmodelle reicht von Seilbahnen für Skilifte über Kabelbäume in der Automobiltechnik bis hin zu medizinischen Endoskopen oder Schläuchen für maritime Anwendungen, zum Beispiel auf Bohrinseln.

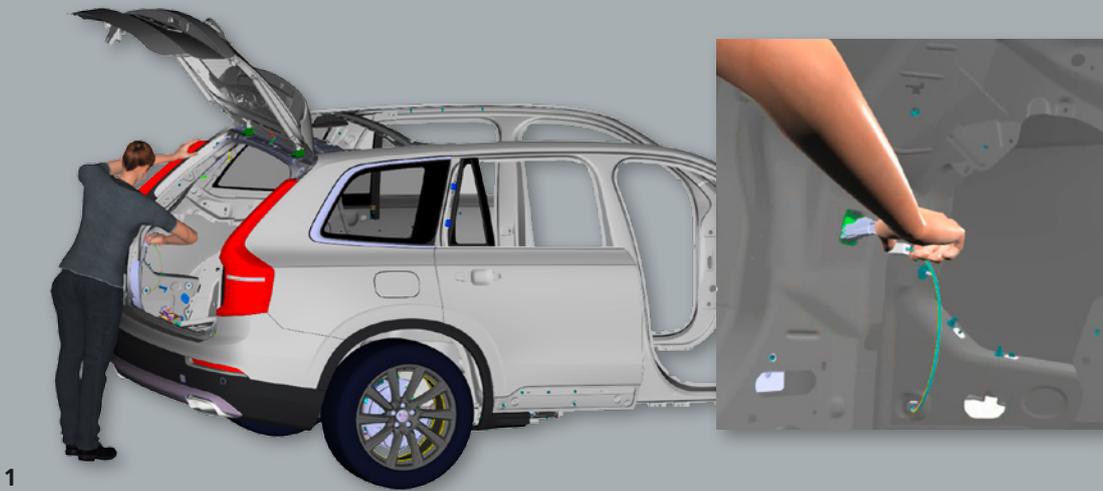
Komplexe Wechselwirkungseffekte verstehen

Den oben genannten Beispielen gemeinsam ist deren Zusammensetzung aus einer Vielzahl von Teilkomponenten, die komplex miteinander wechselwirken. Beispiele sind Fasern im Textilgarn, Drähte in Stahlseilen, die Litzen in Kompositkabeln oder Kabelbündeln, oder die Textverstärkungen und Drahtarmierungen in Hydraulikschläuchen. Hier bestimmt die komplexe Interaktion der Teile ganz wesentlich das Verhalten des Ganzen. Mit den in THREAD erarbeiteten Ergebnissen soll es möglich sein, die komplexen Wechselwirkungseffekte besser zu verstehen und mit validen Simulationsmodellen für die industrielle Praxis nutzbar zu machen.

Die in THREAD bearbeiteten Dissertationsthemen sind anwendungsnah, außerdem dürfen die Doktorandinnen und Doktoranden ein dreimonatiges Praktikum bei einem der Industriepartner absolvieren. Zu den zwölf Partnern aus der Wirtschaft gehört auch die fleXstructures GmbH, ein Spin-Off unseres Instituts, und die IPS AB, ein Spin-Off des Fraunhofer-Chalmers Centre FCC in Göteborg, das zusammen mit uns die Software IPS Cable Simulation entwickelt.

Qualitätsgesicherte Weiterbildung

Für die Nachwuchsforschenden werden in THREAD auch spezielle Workshops zur Weiterbildung angeboten. Wir legen den Schwerpunkt unserer Kurse auf die Messung von Kabeleigenschaften und auf die virtuelle Produktentwicklung mit den Softwaretools zur Montageplanung und interaktiven Simulation flexibler Strukturen, die wir gemeinsam mit dem FCC entwickeln. Bei fleXstructures können die Jungforscher und -forscherinnen Details zu den verschiedenen Modulen der Simulationssoftware IPS erfahren und sich an aktuellen Anwendungsbeispielen aus der Industrie erproben.



1

IPS IMMA UND VR – DAS DIGITALE MENSCHMODELL IN DER VIRTUELLEN REALITÄT

Für die virtuelle Produktentwicklung sind Simulationswerkzeuge schon lange ein unverzichtbarer Bestandteil. Digitale Menschmodelle erlauben es, auch den Menschen in die Simulation des Produktentstehungsprozesses mit einzubinden. Damit können z. B. Werkzeuge für die Montage, einzelne Arbeitsplätze oder Arbeitsstationen bereits in der digitalen Entwicklungsphase effizient gestaltet und ergonomisch optimiert werden.

1 Einbauszene eines Rückleuchtensteckers in IPS

Die Herausforderung bei der Steuerung solcher Menschmodelle liegt in der Komplexität des Menschen selbst – die hohe Anzahl an Gelenken und Freiheitsgraden erlauben es, ein und dieselbe Aufgabe auf unterschiedlichste Art und Weise zu lösen. So muss man in klassischen Menschmodellen Gelenkwinkel und Haltungen oft müßig von Hand definieren. Das am Fraunhofer FCC entwickelte digitale Menschmodell IPS IMMA ermöglicht es mit einer smarten Mischung aus biomechanischer Modellierung und Optimierung, menschliche Haltungen präzise vorherzusagen.

Am ITWM wird IPS IMMA in enger Zusammenarbeit mit den FCC-Mitarbeitenden bzgl. seiner biomechanischen Fähigkeiten und seiner intuitiven und interaktiven Benutzbarkeit weiterentwickelt. In der virtuellen Realität werden damit Simulationen für den Anwendenden realistisch erfahrbar. So können zum Beispiel Ergonomen eine Szene »betreten« und Arbeitsvorgänge beurteilen. Aber auch Monteure können sich auf diese Weise mit ihren zukünftigen Arbeitsplätzen vertraut machen.

Datenhandschuhe als Eingabegeräte

In unserem VR-Labor werden solche Szenen aufgebaut, untersucht und neue Funktionalitäten entwickelt. Um in der virtuellen Realität auch selbst und intuitiv »Hand anlegen zu können«, testen wir Datenhandschuhe als Eingabegeräte für die Software. Diese erzeugen z. B. durch haptisches Kräftefeedback den Eindruck, den Widerstand des zu greifenden Bauteils zu spüren, so dass sogar weiche oder harte Gegenstände unterschieden werden können. So kann z. B. ein Monteur eine Szene nicht nur betrachten, sondern hat in der virtuellen Umgebung auch seine eigenen Hände zur Verfügung, mit denen er wie gewohnt Bauteile greifen und bewegen kann.

Interaktive dynamische Ergonomieanalyse nach biomechanischen Kriterien

Im Fraunhofer-Projekt MAVO EMMA-CC (www.emma-cc.com) wurde ein IMMA-Prototyp entwickelt, mit dem dynamische Bewegungen des IMMA-Manikins ohne »motion capturing« erzeugt werden können, mittels Optimalsteuerung nach biomechanischen Kriterien. Unsere Vision ist es, diese innovative Methodik für interaktives Arbeiten in VR verfügbar zu machen. Das ermöglicht, die physische Beanspruchung bei Arbeitsvorgängen besser als bisher bewerten zu können.





CDTIRE: KOOPERATION MIT CATARC



Das China Automotive Technology and Research Center (CATARC) ist die größte chinesische Forschungs-, Versuchs- und Zertifizierungseinrichtung für die Automobilindustrie mit rund 4.700 Mitarbeitenden. Seit Ende September 2019 kooperiert das Fraunhofer ITWM mit der chinesischen Prüfstelle. Inhalt der Kooperation ist die Reifensimulation, fußend auf unserer Software Suite CDTire. Diese wird CATARC ab sofort für die Reifenmodellparametrisierung für die chinesischen CDTire-Kunden einsetzen. CATARC macht dazu Versuche sowie Messungen und erstellt mit der von Fraunhofer lizenzierten CDTire PI-Software auch die Parameterfiles. Auf der von CATARC organisierten Konferenz »Technology Conference on Automotive Virtual Road Application« in Tianjin wurde der Vertragsabschluss festlich besiegelt.

NEUES SEMINAR »ML IN DER FAHRZEUG- ENTWICKLUNG«



Ab sofort veranstaltet der Bereich MF das Weiterbildungsseminar »Datenanalyse und Maschinelles Lernen in der Fahrzeugentwicklung«. Die Premiere fand bereits im Oktober 2019 bei der 46. Tagung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit des Deutschen Verbands für Materialforschung und -prüfung e. V. (DVM) bei VW in Wolfsburg statt und stieß dort auf sehr positive Resonanz. Im Seminar werden Grundlagen der Datenanalyse und des Maschinellen Lernens eingeführt und anhand konkreter Beispiele aufgezeigt wie diese den Fahrzeugentwicklungsprozess unterstützen und verbessern können. Angesichts der heutzutage immensen und größtenteils noch weiter wachsenden Datenverfügbarkeit bieten die thematisierten Methoden viele interessante Optimierungsmöglichkeiten, insbesondere in Kombination mit klassischen Simulationstechniken.

4. IPS CABLE SIMULATION USER CONFERENCE IN SPEYER



Auch zur 4. IPS-Anwenderkonferenz, die wir gemeinsam mit fleXstructures GmbH, IPS AB, und unserem schwedischen Partner-Institut FCC veranstalteten, kamen viele unserer weltweiten Anwenderinnen und Anwender. Dank einzigartiger und herausragender Funktionen wie der Optimierung der Kabellänge und der automatischen Verlegung mit Clips hat sich IPS Cable Simulation zum führenden Werkzeug in seiner spezifischen Domäne entwickelt. Die Konferenz fand an einem außergewöhnlichen Ort vor beeindruckender Kulisse statt: dem Technik-Museum in Speyer.