



# Mobilität

---

Das Thema »Mobilität« ist ein ständiger Begleiter für uns am Fraunhofer ITWM – sei es für die Automobilindustrie, in der Bau- und Landwirtschaft oder gar für die Luft- und Raumfahrt. Unser Fokus liegt auf unseren Simulationsmethoden, die Produkte optimieren, oft bevor ein kostspieliger Prototyp gebaut wird. Wir prüfen aber auch Bauteile mit unserer Terahertz-Forschung. Eine Vielzahl an Projekten können wir in diesem Bereich vorweisen und immer kommen neue hinzu, die die Mobilität für Anbieter und Anwender verbessern.



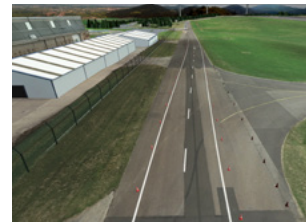
# Virtuelle Welten für die Fahrzeugentwicklung

Autonome Fahrfunktionen und Fahrerassistenzsysteme wie Park- oder Spurhalteassistenten gelten als zukunftsweisende Technologien in der Automobilindustrie und sind bereits heute aus modernen Fahrzeugen kaum mehr wegzudenken. Bevor diese jedoch auf die Straße kommen, müssen sie erprobt und abgesichert werden. Hierfür entstand in unserer Abteilung »Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten« ein neues Modul in der Tool-Suite VMC® (Virtual Measurement Campaign): Der VMC® Road & Scene-Generator.

Aktuelle Methoden scheitern oft daran, die Vielfalt und Komplexität der echten Welt wiederzugeben. So existieren beispielsweise in händisch erstellten Simulationsmodellen oftmals nur einfache Basis-Kreuzungen, die in der realen Welt aber nur selten auftreten. Moderne Assistenzsysteme müssen jedoch jederzeit die Sicherheit gewährleisten – auch in komplexen Verkehrssituationen. Hierzu sind realistische Umgebungsmodelle notwendig.

## Mehrstufige Generierung von Umgebungsmodellen

Im Fokus des VMC® Road & Scene-Generators steht das Erstellen von virtuellen Welten, welche je nach Bedarf öffentliche Straßen oder Testgelände abbilden. Die Generierung kann auf hochgenauen Messdaten, wie z. B. aus Vermessungen des abteilungseigenen Messfahrzeugs »REDAR«, basieren. Das Softwarepaket bietet aber zusätzlich eine weitere Besonderheit: Auch ohne detaillierte Messdaten liefert das Modul nämlich wertvolle Ergebnisse. »Dank der VMC®-Datenbank, die weltweite, georeferenzierte Daten zu Straßen, Topografie, Flächennutzung sowie Verkehr enthält, erstellen wir digitale 3D-Karten, ohne Messungen vor Ort durchzuführen. Bei Bedarf fusionieren wir diese Daten mit weiteren verfügbaren Informationen, wie sie beispielsweise Vermessungsämter bereitstellen«, sagt Experte Tim Rothmann. Fehlen im Prozess einzelne Attribute, wie etwa die



Spuranzahl oder -breite einer Straße, ergänzen unsere Forschenden diese mit maßgeschneider-ten Vorhersagemodellen anhand von regionalen oder straßentypischen Gegebenheiten. Hieraus ergibt sich zwar keine exakte Abbildung der Realität, es entstehen jedoch für viele Anwendungen hinreichend realistische Näherungen. Durch die Effizienz des Ansatzes und die globale Verfügbarkeit sowie Vielfalt trägt das Fraunhofer ITWM maßgeblich zur Wirksamkeit und Umsetzbarkeit von Szenarien-basierten Absicherungskonzepten bei.

## Ein Modul, viele Anwendungen

Der VMC® Road & Scene-Generator bietet je nach Anforderung immer die passende Lösung: Für Simulationen, die sich auf einfache abstrakte Informationen wie Straßennetzbeschreibungen stützen, sowie auch für komplexere Anwendungen, die detaillierte und fotorealistische 3D-Modelle oder eine genaue Replikation der realen Umgebung erfordern. »Wir bieten die optimale Balance aus Variabilität, Realitätsgrad und Aufwand«, erklärt Rothmann.

*Links: Reale Szene (Foto)*

*Mitte: 3D Scan*

*Rechts: Virtuelle 3D Szene*

## Kontakt

M.Eng. Tim Rothmann  
Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«  
Telefon +49 631 31600-4737  
tim.rothmann@itwm.fraunhofer.de





# VMC<sup>®</sup> Web Services – Cloudbasierte Analyse von Fahrzeugdaten

© freepik

Das Erheben von Nutzungsdaten spielt in vielen Bereichen eine wichtige Rolle. In der Fahrzeugindustrie helfen sie beispielsweise dabei, relevante Fahrzustände zu bestimmen oder den Energieverbrauch zu erfassen. Um die Datenmenge sinnvoll zu verwerten, stehen interessierten Fahrzeugherstellern und Flottenbetreibern die am Fraunhofer ITWM entwickelten VMC<sup>®</sup> Web Services zur Verfügung. Durch hochautomatisierte, datengetriebene Analysemöglichkeiten liefern sie einen wichtigen zusätzlichen Baustein in der Wertschöpfungskette der Fahrzeugentwicklung.

Ein Schwerpunkt unserer Abteilung »Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten« liegt auf der Modellierung der Nutzungsvariabilität von Fahrzeugen unter Einbeziehung von Umgebungsdaten. Hierbei entwickelten sie das vielfältig einsetzbare Software- und Dienstleistungspaket VMC<sup>®</sup> (»Virtual Measurement Campaign«). Es unterstützt Fahrzeughersteller dabei, tiefere Einblicke in die Fahrzeugbeanspruchung und -nutzung zu gewinnen und Messdaten auf das gesamte Fahrzeugleben hochzurechnen.

spezifischen Kundenmodellen und unterstützt Fahrzeughersteller, diese Informationen in ihre Produktentwicklung zu integrieren«, erklärt Fachmann Thorsten Weyh. Die Web Services entsprechen dabei den Modulen der VMC<sup>®</sup> Desktop-Software. Die Module können jedoch individuell kombiniert werden, um hochautomatisierte, statistische Auswertungen für spezifische Nutzungsgruppen zu realisieren.

Jedes Fahrzeug sammelt Daten, jeder gefahrene Kilometer wird in Echtzeit erfasst – sei es bei PKW oder schweren LKW. Hierbei handelt es sich um Informationen, wie wir die Fahrzeuge nutzen, welche Strecken wir zurücklegen und vieles mehr. Fahrzeughersteller und Flottenbetreiber übertragen diese Daten typischerweise in ein cloudbasiertes Ablagesystem, wo sie für umfassende Auswertungen zur Verfügung stehen. Mit der wachsenden Verfügbarkeit von Fahrzeugdaten aus dem laufenden Betrieb heraus wachsen folglich auch die Analysemöglichkeiten.

## Umfangreiche Funktionen

Die neuen Web Services bieten gleich mehrere Vorteile. So ist es nun möglich, spezifische Strecken samt potenziellen Zwischenstopps zu erstellen, Streckenverläufe auf VMC<sup>®</sup> Kartenmaterial zu projizieren, Strecken nach Straßentyp, Kurvigkeit oder Bergigkeit auszuwerten sowie Geschwindigkeitsprofile für verschiedene Fahrzeug-, Fahrer- und Verkehrsmodelle zu kombinieren und simulieren. Als cloudbasierter Online-Dienst ist dabei keine kosten- und ressourcenintensive lokale IT-Infrastruktur notwendig. Die kundenseitigen Hardwareanforderungen reduzieren sich auf ein Minimum und ermöglichen somit einen niederschweligen Zugang zu den Web-Diensten. Neben den bereits genannten geo-referenzierten Analysemöglichkeiten stellen die Services zudem Angaben über den Verbrauch und Emissionen über den gewählten Streckenverlauf bereit.

## Kontakt

Dipl.-Ing. Thorsten Weyh  
Bereich »Mathematik für die  
Fahrzeugentwicklung«  
Telefon +49 631 31600-4513  
thorsten.weyh@itwm.fraunhofer.de



## Ein weiterer Baustein in der Fahrzeugentwicklung

»Hier greift unser neues Tool – die VMC<sup>®</sup> Web Services. Es verbindet die Sammlung von realen Nutzungsdaten mit dem Ableiten von



[www.itwm.fraunhofer.de/vmc-services](http://www.itwm.fraunhofer.de/vmc-services)



# Partikelsimulation für Bau- und Landmaschinen

Das Modul »Demify®« ist Teil der IPS Softwarefamilie und bietet mit der Toolbox »Demify® for Heavy Machinery and Vehicles« eine Partikelsimulation für verschiedene Anwendungen an der Schnittstelle zwischen granularen Materialien und Werkzeugen. Der Partikel-Solver ermöglicht die Kraftvorhersage bei der Interaktion zwischen Boden und dem Werkzeug einer Bau- und Landmaschine. Durch Maschinelles Lernen, insbesondere rekurrente neuronale Netze (RNN), beschleunigen unsere Forschenden die Simulationen erheblich.

So werden nun auch Echtzeittests im Fahr Simulator RODOS® möglich. Die weitere Forschung wird in einem PACT-Projekt von der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert. »In den kommenden zwei Jahren wollen wir weitere Features entwickeln, unsere Ideen umsetzen und Demify® auf dem Markt etablieren«, so Sebastian Emmerich. Geplant sind neben KI-Modellen zur Effizienzsteigerung neue Methoden zur Kopplung von Partikelsystem und Mehrkörpermodell sowie die Co-Simulation flexibler Bauteile.



[www.itwm.fraunhofer.de/demify](http://www.itwm.fraunhofer.de/demify)

## Kontakt

Dr. Sebastian Emmerich  
Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«  
Telefon +49 631 31600-4079  
[sebastian.emmerich@itwm.fraunhofer.de](mailto:sebastian.emmerich@itwm.fraunhofer.de)



# Realitätsnahes Reifenmodell für präzise Rollwiderstandvorhersage

Der Rollwiderstand von Reifen ist die Folge von Energieverlusten. Er ist Teil des EU-Reifenlabels, das ihn in Effizienzklassen von A bis E einteilt. Es ermöglicht den Vergleich neuer Reifen unter Laborbedingungen. Dabei verbessert ein geringerer Rollwiderstand den Kraftstoffverbrauch und dementsprechend auch die Energieeffizienz. Die Praxis sieht jedoch ganz anders aus, wodurch die Effizienzklassen im Alltag durch viele Kurzstrecken mit »kalten« Reifen nicht erreichbar sind. Gerade für E-Fahrzeuge ist dies jedoch von Bedeutung, da es die

Reichweite beeinflusst. Diesem Problem widmen sich die Forschenden des Bereichs »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«. Die Reifen-Simulationssoftware »CDTire«, welche eine physikalische Modellierung aller Elemente eines Reifens wie eines Stahlgürtels – inklusive Temperatur- und Druckvariationen – ermöglicht, wurde so weiterentwickelt, dass sie nun auch innere Reibungsverluste berücksichtigt. Durch Kopplung der inneren Reibung mit dem Temperaturmodell ist eine realitätsnahe Simulation des Rollwiderstandes möglich.

## Kontakt

Dr.-Ing. Christoph Burkhardt  
Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«  
Telefon +49 631 31600-4152  
[christoph.burkhardt@itwm.fraunhofer.de](mailto:christoph.burkhardt@itwm.fraunhofer.de)



[www.itwm.fraunhofer.de/cdtire](http://www.itwm.fraunhofer.de/cdtire)

# Terahertz für die Raumfahrt

Unsere modernen Terahertz-Systeme messen zerstörungsfrei und präzise Schicht für Schicht – selbst bei komplexen Strukturen wie Schäumen und deren Verklebungen – wodurch die Integrität der Materialien erhalten bleibt. Mit der eingesetzten Terahertz-Technologie arbeiten wir vollkommen berührungslos und zerstörungsfrei und verwenden keine schädliche Strahlung. In einem neuen Projekt unterstützen wir nun »MT Aerospace« beim Untersuchen des neuen Tanks für die Trägerrakete »Ariane 6«.



Das Luft- und Raumfahrtunternehmen »MT Aerospace« ist spezialisiert auf die Produktion von Leichtbaukonstruktionen, insbesondere aus Metall und Faserkompositen. Derzeit untersuchen sie für die ArianeGroup im Projekt »PHOEBUS« die potenzielle Weiterentwicklung der cryogenen Flüssigkeitstanks der »Ariane 6«. Diese neueste europäische Träger Rakete verwendet bisher klassische, metallische Tanks und befindet sich aktuell in den Endvorbereitungen zu ihrem ersten Start.

Ziel von »PHOEBUS« ist es nun, das Gesamtgewicht und die Kosten der Rakete durch eine Umstellung des Tankmaterials von Aluminium auf carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) zu reduzieren. In einem spezialisierten Verfahren werden Hartschaumplatten auf die CFK-Tanks geklebt, die zur mechanischen Dämpfung und thermischen Isolierung während des Fluges dienen. Dabei dürfen keine fehlerhaften Klebestellen und Lufteinschlüsse entstehen, da sonst die Stabilität der gesamten Struktur in Gefahr ist.

## Zwischen Infrarot- und Mikrowellenstrahlung

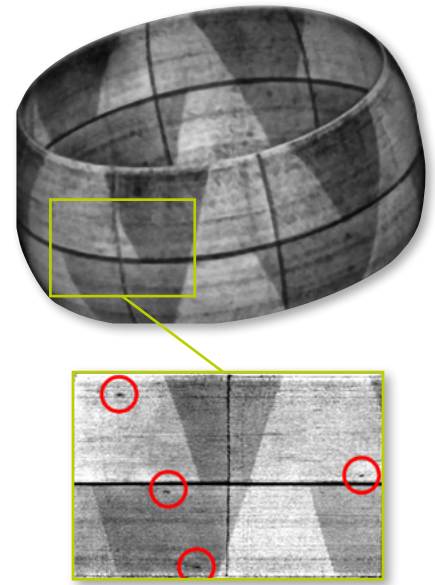
Terahertz bezeichnet den Bereich elektromagnetischer Strahlung zwischen Infrarot- und Mikrowellenstrahlung mit Frequenzen von etwa 0,1 bis 10 THz. Diese Strahlung ermöglicht eine zerstörungsfreie Durchdringung von Objekten, zum einen für Untersuchungen mittels 3D-Bildgebung und zum anderen für Materialcharakterisierungen.

## Optimierte Materialverklebung durch Terahertz-Messungen

Hier kommen die Expertinnen und Experten unserer Abteilung »Materialcharakterisierung und -prüfung« ins Spiel. Mit ihrer Terahertz-Technologie untersuchen sie komplexe Bauteile auf interne, strukturelle Schäden oder Produktionsfehler. Denn ihre entwickelten Messtechniken sind ideal geeignet, um viele nicht elektrisch leitende Materialien zu durchleuchten – so auch die eingesetzten Schäume im Projekt »PHOEBUS«. Sobald unsere robotergesteuerten Terahertz-Scanner in die Produktionsanlage integriert sind, analysieren sie die Tankoberfläche samt aufgeklebtem Hartschaum vollflächig und decken Unregelmäßigkeiten in der Klebefläche auf.



© ArianeGroup



»Wir kontrollieren dabei mithilfe unseres Sensors die gesamte Schicht und betrachten das reflektierte Terahertz-Signal auf der CFK-Oberfläche«, erklärt Projektleiter Dr. Maris Bauer. »Die Grenzfläche zwischen den beiden Materialien erfassen wir hierdurch sehr detailliert. In den so erzeugten Terahertz-Bildern deuten Kontrastunterschiede auf fehlerhafte Verklebungen hin. Auf Basis dieser Erkenntnisse geben wir unserem Projektpartner präzise Informationen darüber, wie erfolgreich die Verklebung ist und welche Bereiche eventuell weiterer Aufmerksamkeit bedürfen.«

### Zeile für Zeile zur Qualitätssicherung

Die Forschenden der Abteilung übernehmen hier nicht nur die eigentliche Messtechnik. Auch die Systemintegration zu einem vollständigen Prüfsystem entwickeln sie. Ein Roboter positioniert den Terahertz-Sensor während des Messvorgangs an einer einzelnen Stelle am Treibstofftank, während der Tank selbst auf einer Drehachse rotiert. So entsteht die Analyse genau einer Messzeile entlang der Oberfläche des mit Schaum beklebten Tanks. Nach dem vollständigen Durchleuchten einer Zeile bewegt der Roboter den Sensor anschließend um wenige Millimeter weiter, um dann die nächste Zeile zu erfassen. Es entsteht schließlich ein 3D-Bild der gesamten Struktur von

Schaum und Tank. Die Konstruktion wird so systematisch, Schicht für Schicht und millimeterweise, über einen Zeitraum von mehreren Stunden hinweg analysiert. Dabei ist die Rotationsgeschwindigkeit des Tanks die entscheidende Größe, die die Gesamtmesszeit eines vollständigen Tanks definiert. Derzeit liegt diese noch bei einigen Stunden. Eine verbesserte Mechanik ist jedoch in Planung, um die Aufnahmezeit der Terahertz-Messungen deutlich zu reduzieren.

»Da es sich bei den Raketentanks um wenige Einzelstücke handelt, ist die Messzeit aber nicht der einzige entscheidende Faktor. Bei diesen äußerst sicherheitsrelevanten Konstruktionen kommt es vielmehr auf die präzise und vor allem lückenlose Begutachtung der Verklebungsfleichen an. Hier unterscheiden wir uns von anderen, punktuell durchgeführten Prüftechniken, wie beispielsweise manueller Ultraschallprüfung. Unsere Methode ermöglicht es uns, Probleme in der Fertigung rechtzeitig aufzudecken und bietet somit eine zuverlässige sowie garantierte Messtechnik«, beschreibt Bauer. »Durch diese gründliche Analyse stellen wir nicht nur die Qualität des Endprodukts selbst sicher, sondern identifizieren auch potenzielle Schwachstellen im Herstellungsprozess, wodurch frühzeitig Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden können.«

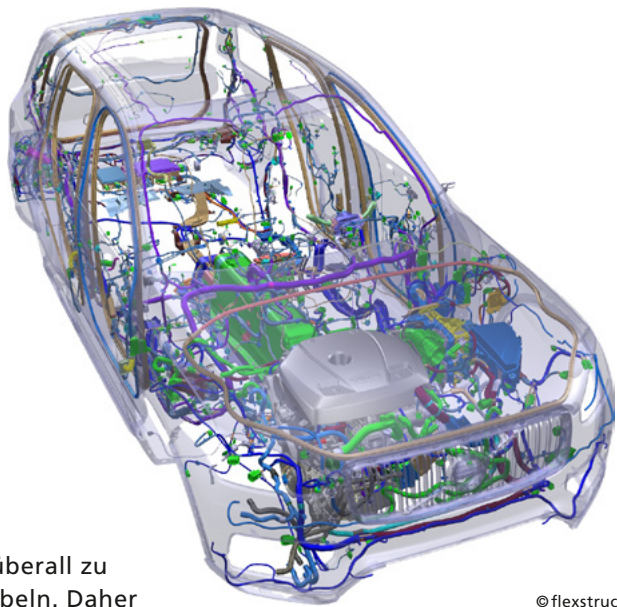
*Links: Konzeptstudie einer potenziellen Oberstufe mit CFK-Flüssigtreibstofftanks  
Rechts: Terahertz-Aufnahme der Verklebungsfleichen von Schaumstoffummantelung und zylindrischem CFK-Tank*

### Kontakt

Dr. Maris Bauer  
Materialcharakterisierung  
und -prüfung  
Telefon +49 631 31600-4940  
maris.bauer@itwm.fraunhofer.de



# Wie lange hält ein Kabel?



© flexstructures

Ein Blick ins Innere eines Fahrzeuges: Kabel und Schläuche sind allgegenwärtig.

In Fahrzeugen sind sie fast überall zu finden – die Rede ist von Kabeln. Daher ist ein Kernthema der Forschung in unserem Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« das Gebiet der Kabel, Schläuche und flexiblen Strukturen. Simulationen helfen, deren Montageposition zu optimieren, und zwar schon lange, bevor Hardware ins Spiel kommt. Doch die ultimative Frage lautet: Wie lange hält das Kabel?

Anzahl der Lastzyklen bis zum Ausfall darstellt, erklärt der Experte Dr. Fabio Schneider-Jung.

## Vergleichende und absolute Lebensdauer-Vorhersagen

Unser Softwarepaket »IPS Cable Simulation« erlaubt die Simulation von Kabeln und Schläuchen in Echtzeit. Das heißt, Nutzerinnen und Nutzer können die 3D-mechanische Auslegung von Kabel und Schläuchen im Fahrzeug interaktiv vornehmen, verändern und validieren. Somit finden sie bereits eine optimale Auslegung, bevor die ersten Hardware-Aufbauten entstehen. Das spart Zeit und Kosten und reduziert Prototypen sowie weitere Iterationen.

Vergleichende Aussagen sind bereits mit einer generischen Wöhlerkurve möglich. Das heißt, die Anwendenden kennen zwar nicht die absolute Lebensdauer, vergleichen aber verschiedene Varianten einer Verlegung bezüglich deren Lebensdauer. Um zusätzlich die tatsächliche Lebensdauer vorhersagen, ist eine spezifische Kabel-Wöhlerkurve erforderlich.

Diese zu ermitteln, ist jedoch keine leichte Aufgabe. Die Forschenden benötigen hierzu einige Prüflinge in verschiedenen Tests – wobei der Testaufwand immer verhältnismäßig bleiben muss. Eine weitere Hürde sind die fast unmöglichen Messungen lokaler Lasten entlang des Kabels. Hier reichern sie die experimentellen Daten durch Simulationen an. Mittels der Maximum-Likelihood-Methode, suchen sie schließlich die Wöhlerkurve, welche bestmöglich zu den gesammelten Lebensdauerdaten passt.

## Wir forschen stetig an Erweiterungen

Obwohl »IPS Cable Simulation« bereits erfolgreich ist und von unserer Ausgründung »flexstructures« vertrieben wird, streben unsere Forschenden kontinuierliche Verbesserungen und neue Funktionen an. So beschäftigen sie sich in aktuellen Projekten mit der Frage: Wie lange hält das Kabel?

Die Simulation liefert bereits Informationen über die lokal auftretenden Lasten. Aber was bedeuten diese Lasten für die Kabel-Lebensdauer? »Entscheidend für die Antwort ist eine geeignete Kabel-Wöhlerkurve, welche die Beziehung zwischen lokalen Lastamplituden und der

»Für einige Kabel ermittelten wir bereits Kabel-Wöhlerkurven – mit vielversprechenden Ergebnissen, denn die vorhergesagte Lebensdauer bestätigte sich in weiteren Experimenten«, so der Forscher abschließend.

## Kontakt

Dr. Fabio Schneider-Jung  
Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«  
Telefon +49 631 31600-4730  
fabio.schneider@itwm.fraunhofer.de



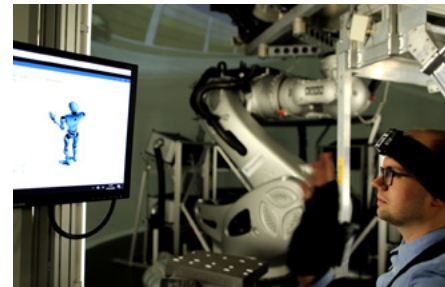
[www.itwm.fraunhofer.de/ips](http://www.itwm.fraunhofer.de/ips)



# Autonomes Fahren: Sicher und komfortabel durch unser innovatives Menschmodell

Im Projekt EMMA4Drive untersucht der Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« die Auswirkungen verschiedener Fahrmanöver auf Menschen, einschließlich deren Reaktionsverhalten und Sitzbelastung, um neue Körperhaltungen und Bewegungsabläufe zu berechnen. Ein Digitaler Zwilling von Fahrzeuginsassen hilft, Szenarien in der Simulation zu untersuchen und neue Sitzkonzepte hinsichtlich Sicherheit und Ergonomie zu analysieren. Verschiedene Studien laufen hierzu.

Fährt ein Mensch nicht selbst und achtet nicht auf den Verkehr, ist es für ihn kaum möglich, sich auf Fahrmanöver vorzubereiten – man reagiert lediglich auf wahrgenommene Beschleunigungen und Kräfte. Um ein solches reaktives Verhalten in einer Simulation abzubilden, wenden unsere Forschenden die Optimalsteuerung an. Diese liefert realistische Bewegungen, wobei der Mensch das Fahrmanöver optimal ausgleicht. Sie prüfen aber auch Ansätze wie die nichtlineare modellprädiktive Regelung.



## Sicher in autonom fahrenden Bussen

Harte Regularien existieren bei autonom fahrenden Bussen oder Shuttles in Bezug auf das Anfahren und Bremsen. »Um stehende Fahrgäste nicht zu gefährden und dennoch die Time-to-collision einzuhalten, bestimmen wir über Simulationen die optimale Belastung der Insassen. Dabei berechnen wir ihre Ausgleichsbewegungen in verschiedenen Stehrichtungen und Bremsbeschleunigungen und bestimmen für verschiedene TTC-Werte optimale Bremsprofile. Ebenso berücksichtigen wir eine Reaktionszeit der Insassen«, Dr. erklärt Monika Harant.

## Simulationen validieren

Auch den Fahrsimulator RODOS® ziehen unsere Forschenden heran. So untersuchen sie die

Sitzposition und Aufmerksamkeit eines Fahrennden bei einem plötzlichen Spurwechsel. Bei verschiedenen Geschwindigkeiten, Aufmerksamkeitslevel sowie Positionierungen fragen sie dabei das Komfort- und Sicherheitsgefühl während der Fahrmanöver ab. Zusätzlich zeichnen sie die Sitzdruckverteilung über Druckmessmatten auf, um Informationen über die mechanische Fahrer-Sitz-Wechselwirkung zu erhalten.

»Um unsere EMMA-Simulationen mit den Beobachtungen aus den RODOS®-Experimenten zu vergleichen und die Simulation damit auch zu validieren, übertragen wir die Bewegungen der Fahrzeugkabine dann in die Simulationen«, so Harant. Hierzu messen sie die Bewegungen der Fahrzeugkabine über eine IMU (inertiale Messeinheit) und geben die Daten als Referenzbewegung in die Simulation ein. Über den Optimalsteuerungsansatz bestimmen sie eine Ausgleichsbewegung zum Fahrmanöver und berücksichtigen dabei auch eine Reaktionszeit.

*Der Fahrsimulator RODOS® im Einsatz – Untersuchungen während autonomer Fahrten*

## Kontakt

Dr. Monika Harant  
Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«  
Telefon +49 631 31600-4107  
monika.harant@itwm.fraunhofer.de

