



# Mobilität

---

Mobilität bestimmt einen großen Teil des Lebens, global wie lokal. Um den Verkehr zu lenken, sicherer zu gestalten und ressourcenschonend abzuwickeln, bedarf es geeigneter technischer und konzeptioneller Lösungen. Mit unseren Partnern in der Fahrzeugindustrie fokussieren wir unsere Aktivitäten auf die Fahrzeug-Umwelt-Mensch-Interaktion und entwickeln Softwaretools für die virtuelle Produktentwicklung und Produktentstehung in der digitalen Fabrik.



# Das Technikum – Versuche und Simulationen unter einem Dach

Simulationen spielen in der Mobilitätsforschung seit langem eine große Rolle und werden immer wichtiger, gerade bei der virtuellen Produktentwicklung im Fahrzeugsektor. Damit beschäftigt sich unser Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« und vereint die benötigten technischen Versuchseinrichtungen in seinem Technikum. Hier werden eigene Mess- und Simulationstechniken entwickelt, die Hand in Hand mit den Modellierungs- und Simulationsmethoden sowie Softwaretools aufgebaut werden.

## Hardware und Software als technisches Rückgrat unserer Forschung

Das Simulator-Zentrum umfasst den Roboterbasierten Fahrsimulator RODOS® (Robot based Driving and Operation Simulator), den statischen Fahrsimulator VI-Grade compact DIM und das Virtual-Reality-Labor. Die Messtechnik liefern REDAR (Road and Environment Data Acquisition Rover) – ein 3D-Laserscanner Fahrzeug – und die hoch automatisierte Messmaschine MeSOMICS (Measurement System for the Optically Monitored Identification of Cable Stiffness); mit ihr werden Kabelsteifigkeiten ermittelt.

## Virtuelle Umgebung für Pkw und Nutzfahrzeuge

Der Fahrsimulator RODOS® stellt die größte der Anlagen des Technikums dar und erlaubt es, Situationen bis unmittelbar vor einem Crash detailliert, sehr gut reproduzierbar und risikolos mithilfe interaktiver Simulation zu untersuchen. Mit 1000 kg Nutzlast ermöglicht der Roboterarm die Verwendung von Serienbaggerkabinen und echten Pkw-Karosserien. Innerhalb eines sphärischen Projektionsdomes mit zehn Metern Durchmesser erzeugen 18 Projektoren eine nahtlose Projektion einer

interaktiven Szene, wodurch beispielsweise Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Interaktionen untersucht werden. RODOS® ist derzeit der leistungsfähigste Fahrsimulator der Fraunhofer-Gesellschaft. Zur Modellentwicklung sowie zur kooperativen Fahrsimulation und Abbildung von komplexen Mischverkehrssituationen verwenden wir zusätzlich den statischen Simulator VI-Grade compact-DIM. Dieses System ist für die interaktive Simulation von Pkw optimiert und wird besonders zur Entwicklung unserer Software CDTire/Realtime genutzt.

## VR-Labor für Menschen in komplexen Umgebungen

Das Virtual-Reality-Labor eröffnet die Möglichkeit, Menschen in komplexe Umgebungen und Szenarien zu versetzen. Anwendungen finden sich in der Fahrsimulation, der Produktions- und Fabrikplanung sowie in der Visualisierung. In unserem Labor können eine oder mehrere Personen eine virtuelle Realität als Fußgängerin oder Fußgänger erleben, auf einer Fläche von zehn auf sechs Meter. Menschliche Reaktionen können auch in hochkomplexen Verkehrssituationen durch die Verschaltung mit den Simulationsumgebungen von RODOS® und VI-Grade compact DIM über eine Echtzeit-Datenschnittstelle untersucht werden.

### Kontakt

Dr.-Ing. Michael Kleer  
Leiter Technikum  
Telefon +49 631 31600-4628  
michael.kleer@itwm.fraunhofer.de



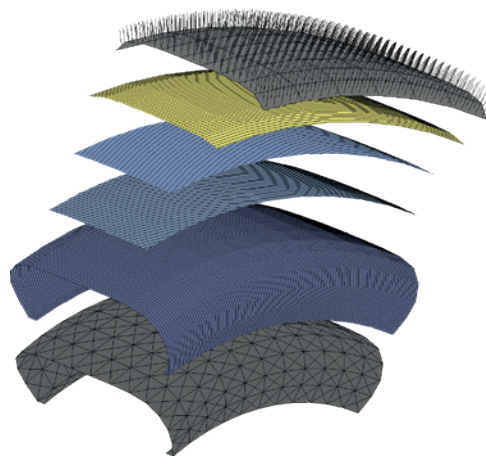
Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/technikum](http://www.itwm.fraunhofer.de/technikum)

# CDTire – mit Simulation den Reifen neu erfinden

Die Reifenmodellierungs-Software ist seit langem fester Bestandteil der Produktpalette im Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«. Von Dr. Manfred Bäcker, Leiter der Gruppe »Reifenmodellierung«, wollten wir im Interview wissen, worin das Alleinstellungsmerkmal von CDTire liegt:

## CDTire ist ein Tool für die Simulation und Entwicklung von Reifen. Was leistet es und wer arbeitet damit?

Historisch gesehen wurden Modelle zur Berechnung von Reifen wie CDTire zuerst von der Automobilindustrie verwendet. Sie wurden gebraucht, um in der virtuellen Fahrzeugentwicklung Gesamtfahrzeug-Simulationen auf digitalen (vermessenen) Teststrecken zu ermöglichen, um im Entwicklungsprozess früh Aussagen über Komfort, Betriebsfestigkeit und fahrdynamische Eigenschaften eines Entwicklungsstandes zu erhalten und diesen weiter zu optimieren. Die Reifenindustrie hingegen benutzt detaillierte Reifenmodelle, die aber wegen des sehr hohen Rechenzeitbedarfs in der Gesamtfahrzeug-Simulation nicht anwendbar sind. Zudem werden sie nicht gerne an Dritte, also auch nicht an die Kundinnen und Kunden in der Fahrzeugindustrie, weitergegeben, weil



CDTire/3D: Funktionales Layer-Konzept

darin auch konstruktive Details abgebildet sind, die als eigenes Know-how angesehen werden. Deshalb war die Fahrzeugindustrie schon immer auf Reifenmodelle angewiesen, die außerhalb der Reifenindustrie entwickelt wurden. Wegen der Forderung nach geringer Rechenzeit waren diese Modelle gegenüber den Finite-Elemente-Modellen (FE-Modelle) der Reifenindustrie sehr stark vereinfacht.

## Und an dieser Stelle kommt dann CDTire ins Spiel?

Genau! Mit der CDTire-Modellgeneration, die zwischen 2010 und 2012 entwickelt wurde, haben wir zum ersten Mal Simulationsmodelle von Reifen bereitgestellt, die sowohl in der Fahrzeugindustrie als auch in der Reifenindustrie als Entwicklungswerkzeuge akzeptiert und benutzt werden. Der Schlüssel zu diesem Erfolg liegt darin, dass ein Modellrahmen entwickelt wurde, der die Reifengeometrie und die Reifenstruktur ähnlich genau abbildet, wie die FE-Modelle der Reifenindustrie – aber in der hundertfachen Rechengeschwindigkeit.

## Was leistet CDTire bei der virtuellen Vorentwicklung von Reifen? Wie sehen die einzelnen Prozessschritte aus?

Da CDTire/3D für alle Applikationen von Fahrdynamik über Komfort bis hin zu »Noise Vibration Harshness« geeignet ist, erlaubt die Software Suite Objektive-Bewertungen für diese Entwicklungskriterien in einer sehr frühen Phase. Darüber hinaus haben wir seit 2018 in



© freepik/newfabrika

Kooperation mit dem Reifenhersteller Goodyear über entsprechende Pilotprojekte mit Fahrzeugherstellern wie Maserati eine neue Methode zur Subjektivbewertung von Reifen an Fahrsimulatoren etabliert. Dafür nutzen wir das echtzeitfähige CDTire/Realtime, das aus CDTire/3D abgeleitet wird. Diese Innovation ist deshalb so bedeutend, da die Subjektivbewertung eines Reifens durch professionelle Testfahrende immer noch am Ende des Entwicklungsprozesses steht: Erst ihr Okay gibt den Reifen frei. Dafür braucht es aber in der Regel sehr viele Iterationen und in jeder Iteration muss ein entsprechender Reifenprototyp produziert werden. Fahrzeugprototypen müssen natürlich auch zur Verfügung stehen. Ziel ist es, 90 Prozent dieses zeit- und kostenintensiven Prozesses am Fahr-Simulator durch virtuelle Reifen- und Fahrzeugprototypen zu erledigen, damit idealerweise nur noch die Endabnahme auf der realen Teststrecke erfolgen muss. Damit können immense Kosten und Entwicklungszeit eingespart werden.

### Was waren die größten Herausforderungen bei der Softwareentwicklung in den letzten Jahren?

Wir haben die neue Generation von CDTire konsequent als »Multiphysics-Tool« konzipiert. So wurde das eigentliche strukturdynamische Reifenmodell in den letzten Jahren durch ein thermodynamisches Modell (CDTire/Thermal) zur Simulation der Wärmeentstehung und des Wärmetransports im Reifen sowie ebenfalls um ein Modell zur dynamischen Innenluft-Simulation – dem sogenannten Cavity-Modell – erweitert. Diese verschiedenen physikalischen Teilmodelle erfordern eine hohe Modularität in der Softwareentwicklung und stellen auch eine

Herausforderung an die Numerik des Gesamtmodells dar, denn Strukturmodell, Temperaturmodell und Innenluftmodell interagieren natürlich miteinander. Das Gesamtmodell wird dadurch zu einem sogenannten »Mehrskalensmodell«. Die Rechenschrittweiten der Teilmodelle liegen auf unterschiedlichen Skalen und müssen gegeneinander koordiniert werden, um eine gute Gesamtperformance zu erzielen. Die Modularität und Erweiterbarkeit im Sinne eines Multiphysics-Tools bei gleichzeitig hoher Rechengeschwindigkeit stellt die größte Herausforderung dar.

### CDTire beinhaltet eine ganze Familie von Reifenmodellen, die sowohl bei Reifen- als auch Fahrzeugherstellern zur Anwendung kommen. Welche neuen Eigenschaften werden zukünftig in CDTire berücksichtigt?

Den größten Entwicklungsfortschritt und gleichzeitig die größten Erfolge im Einwerben von Neukundinnen und -kunden erzielten wir durch die Erweiterung mit dem dynamischen Innenluftmodell. Die neue Applikation erlaubt bei der Gesamtfahrzeugsimulation in einem Frequenzbereich bis 300 Hz eine gute Prädiktionsgüte; Pilotanwendende waren dabei Audi und Maserati, die wir als Unternehmen gewinnen konnten. In naher Zukunft soll die Prädiktionsgüte durch die Anbindung an ein flexibles Felgenmodell noch einmal gesteigert werden. Darüber hinaus soll CDTire auch für die »Air-Borne Noise«-Anwendung erweitert werden. Dabei simulieren wir den Transfer von Strukturschwingungen der Reifenoberfläche in die Außenluft und deren Rückkopplung über die Karosserie in den Fahrzeuginnenraum.

### Kontakt

Dr. Manfred Bäcker  
Teamleiter »Reifensimulation«  
Telefon +49 631 31600-4249  
manfred.baecker@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/cdtire](http://www.itwm.fraunhofer.de/cdtire)

# Daten besser nutzen – KI und ML in der Fahrzeugentwicklung

Ob in Versuchsfahrzeugen gemessen oder in modernen Fahrzeugen während des Betriebs aufgezeichnet: Im Automobilbereich nimmt die Verfügbarkeit von Daten seit Jahren zu. Das gilt auch für Menge und Qualität: Digitale Karten, Klima-, topografische Daten und auch sozioökonomische Informationen fließen ein in den wachsenden Daten-Pool. Technologien zu ihrer Erfassung und Verarbeitung werden ebenso stetig verbessert; und deshalb kann man Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) und des Machine Learning (ML) heute sehr effizient und effektiv nutzen, um aus den schieren Mengen an Daten wertvolle Informationen zu gewinnen.

Moderne Fahrzeuge sind sprudelnde Datenquellen. KI-Methoden helfen, die Datenflut zu nutzen und zu verstehen.

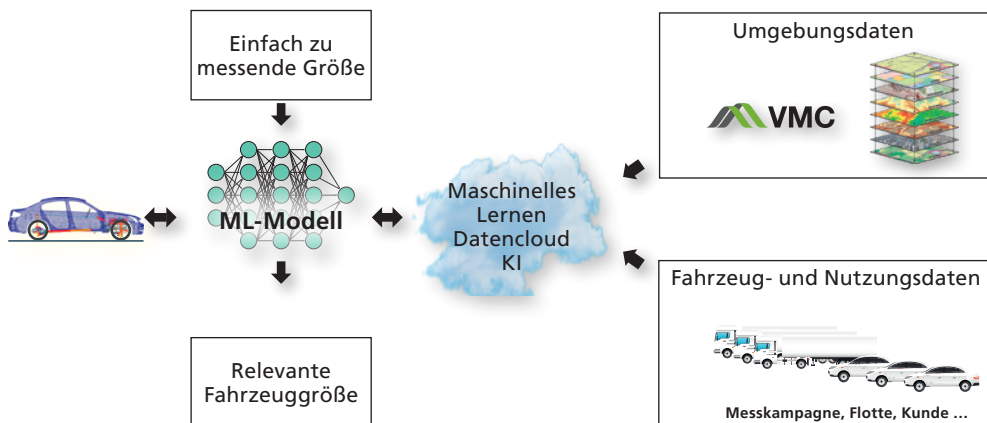


In unserer Abteilung »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung – Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten« werden solche Methoden eingesetzt, um die dabei gewonnenen Erkenntnisse frühzeitig in den Entwicklungsprozess von Fahrzeugen einfließen zu lassen. Zum Beispiel in Form der Software-Suite Virtual Measurement Campaign VMC®. Ihr Ziel ist es, Umgebungsdaten in einer georeferenzierten Datenbank weltweit möglichst flächendeckend zusammenzustellen, zu pflegen und mit mathematischen Analysewerkzeugen zu verbinden. Mithilfe von Fahrer-, Fahrzeug- und Umgebungsmodellen können mit VMC® dank effizienter Simulationstechnologie verkehrshängige Geschwindigkeitsprofile vorhergesagt

und – darauf aufbauend – Aussagen über Fahrzeugbeanspruchung und Energiebedarfe abgeleitet werden. Ein weiterer tiefgreifender Nutzen für den gesamten Entwicklungs- und Absicherungsprozess entsteht im nächsten Schritt durch die Kombination von Nutzungsdaten auf der einen und Fahrzeug- und Umgebungsdaten auf der anderen Seite.

## Kaum erzeugt, schon in der Cloud

Moderne Fahrzeuge verraten viel über ihren Einsatz, denn sie zeichnen zahlreiche Zustandsgrößen auf; Nutzfahrzeuge sind darüber hinaus oft mit einem Telematiksystem ausge-



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

stattet, das die erhobenen Daten in regelmäßigen Abständen an eine Cloud schickt. Gerade bei Nutzfahrzeugen, insbesondere bei Land- und Baumaschinen, ist die Nutzungsvariabilität sehr hoch, je nach Kundengruppe und Einsatzregion: So ist beispielsweise ein Lkw in den bergigen Regionen des Kaukasus anderen Belastungen ausgesetzt als ein Lkw, der seine Ladung hauptsächlich in Mitteleuropa transportiert. Oder ein Bagger in der Sandgrube im Vergleich zu einem Bagger, der Bauschutt zerkleinert und in »Metall« und »Beton« getrennt aufhäuft.

Für den Entwicklungsprozess ist es daher von besonders großem Interesse, möglichst viel über die tatsächliche Nutzung eines Fahrzeuges zu wissen, um die richtigen Auslegungsziele und Erprobungskriterien festzulegen.

### KI erkennt Nutzungsart

Um die richtigen Schlüsse aus den vorliegenden Daten zu ziehen, kommen KI und ML ins

Spiel. »Wir setzen an dieser Stelle einen ML-basierten Detektionsalgorithmus ein, der die Nutzungsart erkennt, also zum Beispiel »Graben« beim Bagger«, erläutert Dr. Michael Burger, stellvertretender Abteilungsleiter »Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten«. »Ist ein entsprechendes ML-Modell trainiert, können wir zeitnah sehr genaue Nutzungsprofile erstellen, spezifisch für Personengruppen und ihre jeweiligen Einsatzregionen.

Allerdings ist die Ausstattung einer großen Anzahl von Nutzfahrzeugen mit ebenso präzisen wie empfindlichen Sensoren aufwändig und der robuste Betrieb in der Regel kosten- und zeitintensiv. »Als alternativen bzw. ergänzenden Ansatz verwenden wir am Fraunhofer ITWM auch datenbasierte und hybride Modelle, die relevante innere Größen, wie zum Beispiel innere Bauteilkräfte, vorhersagen. Dafür nutzen wir leicht messbare äußere Größen wie Beschleunigungen an Achsen oder am Rahmen«, so Michael Burger. Damit können viele Sensoren sowie der Einsatz komplexer Messtechnik vermieden werden.

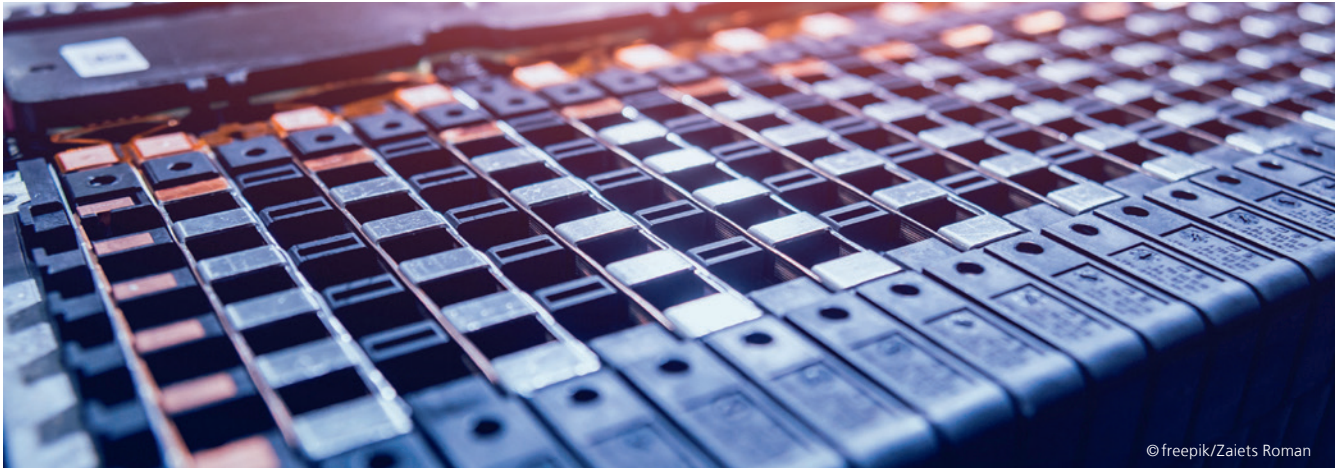
### Kontakt

Dr. Michael Burger  
Stv. Abteilungsleiter »Dynamik,  
Lasten und Umgebungsdaten«  
Telefon +49 631 31600-4414  
michael.burger@itwm.fraunhofer.de



 Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/umgebungsdaten](http://www.itwm.fraunhofer.de/umgebungsdaten)

# DEFACTO – E-Mobilität gewinnt auf Zellebene an Fahrt



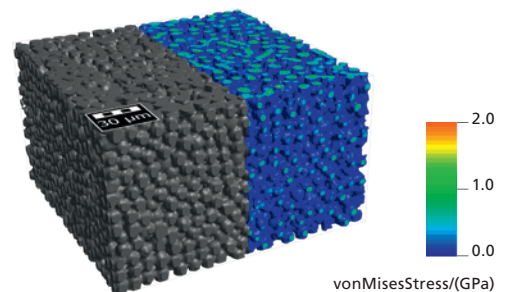
©freepik/Zaiets Roman

## Europäische Batteriezellproduktion revolutionieren

Das EU-Projekt DEFACTO hat sich ein ehrgeiziges Ziel gesetzt: Ein Tool zur Modellierung von Batterien für die Elektromobilität entwickeln – d. h. zum Modellieren sowohl der Batteriematerialien, des Herstellungsprozesses als auch des Zellverhaltens. Das verbesserte Verständnis soll dann zu schnelleren, günstigeren Entwicklungsprozessen für neuartige Zelltypen führen und die Lebenszeit der Batterien verlängern. Beim ITWM-Team rund um Dr. Jochen Zausch stehen das Modellieren und Simulieren der Zelleistung und der Alterungsmechanismen im Fokus.

Die Basiskomponenten der Batterien für E-Mobilität sind komplexe elektrochemische Zellen. »In unserem Beitrag zu DEFACTO konzentrieren wir uns auf die mechanische Alterung der Zellen, die durch Volumenänderungen in den Batterieelektroden verursacht wird«, so Dr. Jochen Zausch, Leiter des Teams »Elektrochemie und Batterien« der Abteilung »Strömungs- und Materialsimulation«.

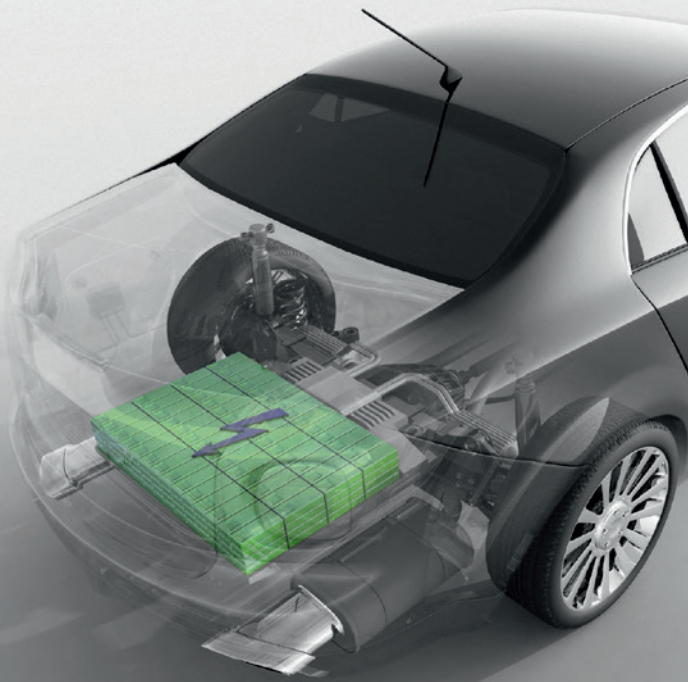
Die vielversprechenden, hochkapazitiven siliziumhaltigen Anoden zersetzen sich schon nach einigen Ladezyklen. Grund für die geringe Lebensdauer sind die Siliziumpartikel in der Anode, die sich ausdehnen und zusammenziehen. Diese sogenannte Zellatmung verstärkt



*Simulation: Berechnete mechanische Spannungen in einen Kompressionsexperiment einer virtuellen Batterieelektrode.*

den Verschleiß, denn dabei entstehen Risse und Schäden. Der Zusammenhalt der Elektrodenmaterialien und damit auch die Ladekapa-





## »Structure.e«: Schneller laden

Ein weiteres aktuelles Projekt zum Thema E-Mobilität, in dem die ITWM-Simulationssoftware BEST eine Rolle spielt, ist »Structure.e«. Lange Wartezeiten für Elektrofahrzeuge an Ladestationen sollen künftig der Vergangenheit angehören. Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt erforscht das Team rund um Zausch Methoden, die die Leistungs- und Ladefähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien verbessern. In einem großen Projektkonsortium unter der Koordination der Volkswagen AG arbeiten zehn Unternehmen und Forschungseinrichtungen nicht nur an der Entwicklung neuer Elektrodenkonzepte, sondern auch an geeigneten Charakterisierungsmethoden. Die Arbeiten werden durch computerbasierte Simulationen unterstützt, die wir bei uns am ITWM entwickeln.

© istockphoto

zität werden nach und nach reduziert. Vereinfacht gesagt erhöhen diese neuen Materialien zwar die Reichweite des Elektrofahrzeugs, aber gleichzeitig ist die Lebensdauer der Zellen geringer, als es das typische Alter eines Autos erfordert.

### Zellmaterialverhalten mit ITWM-Simulationen besser verstehen

Solchen Problemen geht Zausch mit seinem Team auf den Grund, und zwar mit dem ITWM-Tool »BEST«. Damit simulieren sie das elektrochemische Verhalten der Zelle. »Die große Herausforderung besteht jedoch nicht nur in der Berechnung des idealen Batterieverhaltens, sondern wir wollen mehr Realitätsnähe durch die Vorhersage schaffen, wie sich die Batterieeigenschaften über ihre Lebensdauer ändern«, so Zausch. Dies soll durch die Kopp-

lung und Erweiterung zweier ITWM-Software-Tools gelingen: BEST (für die Elektrochemie) und FeelMath (für die Strukturmechanik).

»Im Idealfall lässt sich diese mikroskopische Betrachtung dann auf die makroskopische Skala übertragen. Wir wollen das Verständnis hinsichtlich der Materialwahl, der Elektrodenherstellung sowie -verarbeitung auf europäischer Ebene vertiefen.« Um Innovationen in der E-Mobilität zu fördern, finanziert die Europäische Kommission das Projekt DEFACTO mit einem Gesamtbudget von rund sechs Millionen Euro. Es läuft seit Januar 2020. Das Konsortium der Initiative besteht aus 13 Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Spanien, Frankreich, Belgien, Griechenland und Deutschland und soll dieses ambitionierten Ziele noch bis Juni 2024 verfolgen, um die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie zu erhöhen.

### Kontakt

Dr. Jochen Zausch  
 Teamleiter »Elektrochemie und Batterien«  
 Telefon +49 631 31600-4688  
 jochen.zausch@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/defacto](http://www.itwm.fraunhofer.de/defacto)