

$$B(T, \lambda) =$$

$$2hc^2$$

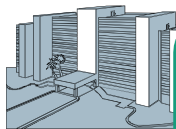
Fraunhofer ITWM

35. Forum Simulation in der Automobilindustrie

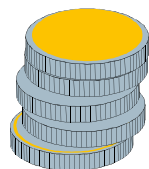
Fraunhofer-Gesellschaft Profil



23 000
Mitarbeiter



76 Institute
Forschung
in Deutschland



3 Mrd. €
Budget

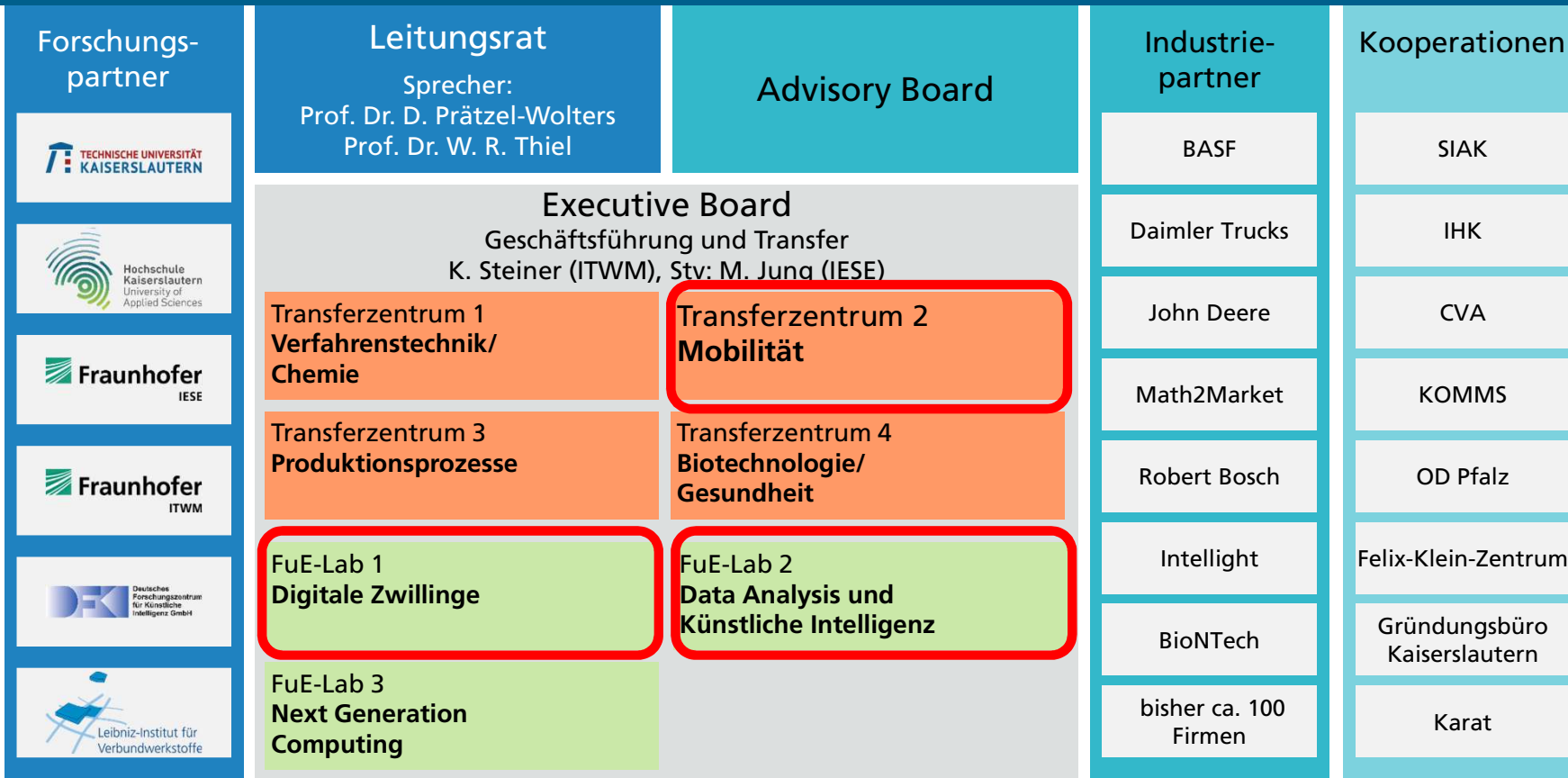
**Fraunhofer Leistungszentrum für
Simulations- und Software basierte Innovation**
- Fraunhofer ITWM (industrial mathematics)
- Fraunhofer IESE (software engineering)

- Mikroelektronik
- Produktion
- **Informations- und Kommunikationstechnik**
- Werkstoffe und Bauteile
- Life Sciences
- Oberflächentechnik und Photonik
- Verteidigungsforschung u. Wehrtechnik



Vernetzung am Standort: Leistungszentrum

Kooperationsvertrag aller Forschungspartner



Fraunhofer-Institute for Industrial Mathematics (ITWM)



Bereich Mathematik für die Fahrzeugentwicklung (MF)

Dr. Klaus Dreßler
April 2024

Fraunhofer ITWM

■ Aktivitäten

- Strömung und Transportvorgänge
- Materialmodelle, Mehrskalensimulation

■ **Mathematik für die Fahrzeugentwicklung**

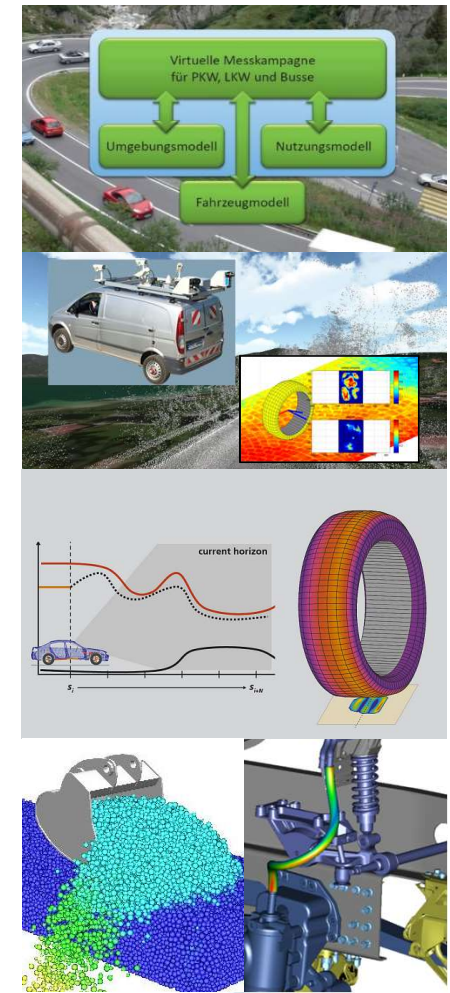
- **Mathematik für die digitale Fabrik**
- **Dynamik, Lasten und digitale Umgebungsdaten**
- **Reifen- und Fahrzeugsimulation**

■ **Technikum: Fahrsimulatoren / Messfahrzeug / Messtechnik**

- Bildverarbeitung und Materialcharakterisierung
- Optimierung
- High Performance Computing

■ Betriebshaushalt: 40 Mio €

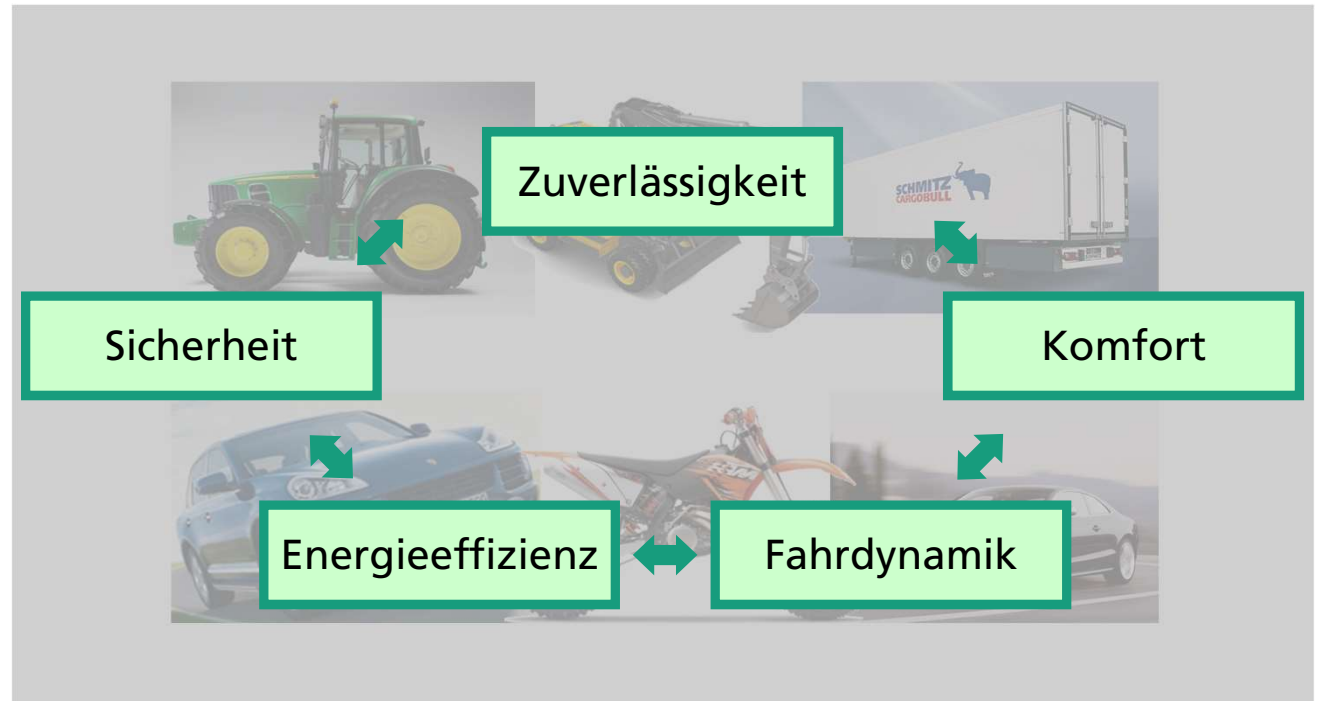
■ 390 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



Fraunhofer ITWM "Mathematics for Vehicle Engineering"

Fahrzeuge

- Sind komplexe mechatronische Systeme
- ...für eine Vielzahl von Anwendungen (Nutzungsvariabilität)
- ...gebaut in vielen Varianten (Produktvariabilität)



Fraunhofer ITWM / Bereich MF

■ System- und Struktursimulation

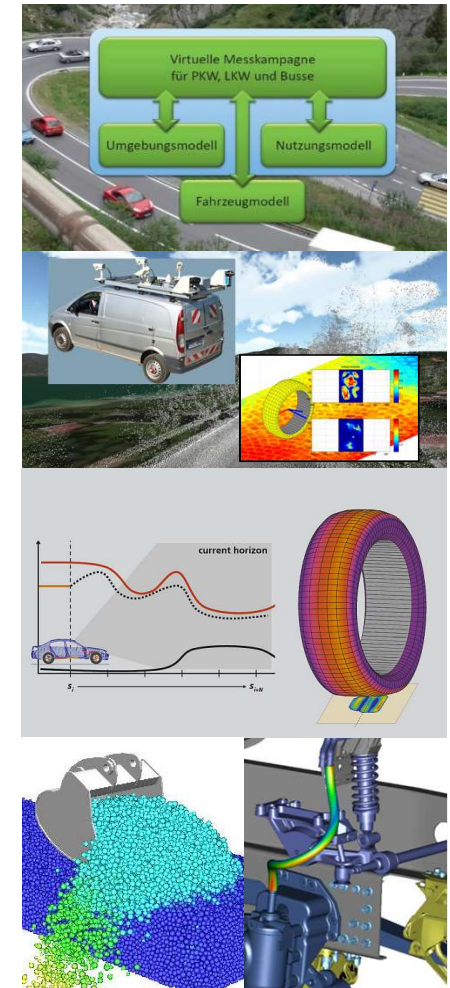
- Kabel und Schläuche / **IPS Cable Simulation** ▶
- Fahrzeug- und Reifensimulation / **CDTire** ▶
- Fahrzeug-Umwelt-Mensch Interaktion / **RODOS®** ▶
- Human modelling → **IMMA / EMMA**

■ Datenanalyse und maschinelles Lernen in der Fahrzeugentwicklung ▶

- ML zur Applikationserkennung; Identifikation dynamischer Systeme
- Statistische Methoden zum Nachweis der Bauteilzuverlässigkeit / **JUROJIN** ▶

■ Nutzungsvervielfältigung & Umgebungsdaten ▶

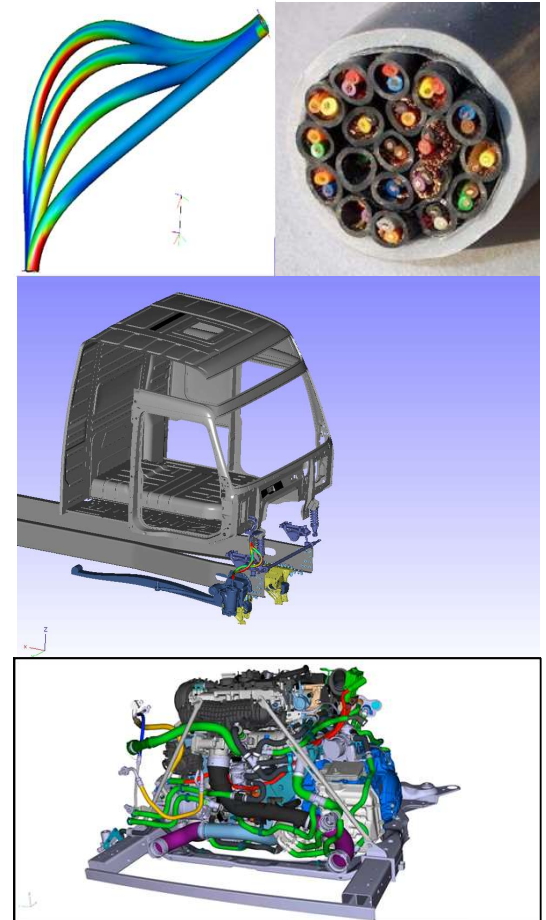
- **VMC®, USIM, REDAR**
- Lasten und Betriebsfestigkeit
- Energieeffizienz / 'real-driving-emission'
- Absicherung ADAS und Verkehrssystemoptimierung



Fraunhofer ITWM / Bereich MF

Simulation von Kabeln und Schläuchen - IPS Cable Simulation

- Schnelle und physikalisch korrekte Simulation großer nichtlinearer Deformationen
- Anwendungsfokus: Interaktive Simulation von Konstruktion, Montage und Betrieb von Kabeln und Schläuchen
- Produktivität: Software in CAD/DMU/CAE Kontext mit vielen Modellierungsfeatures (Verbindungen, Verzweigungen, Clips, Kontaktmodellierung,...)
- Forschung / Methodenentwicklung: Dynamik, Plastizität, Betriebsfestigkeit, flächige Strukturen,...



Fraunhofer ITWM / Bereich MF

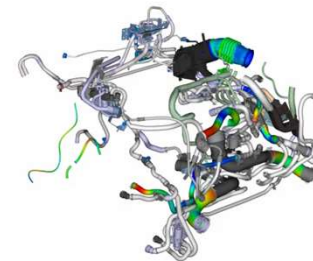
Simulation von Kabeln und Schläuchen - IPS Cable Simulation



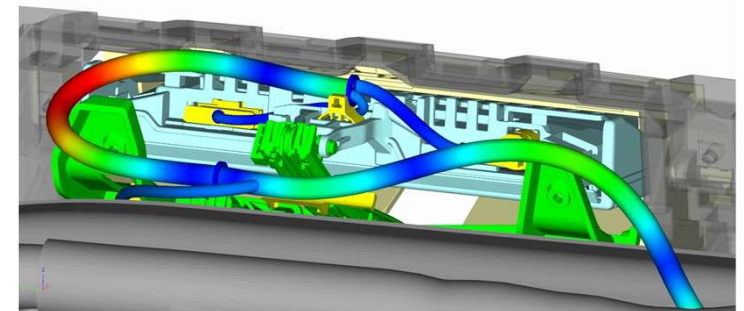
IPS Cable Simulation - *Seit 2005 Entwicklung bei Fraunhofer (ITWM+FCC), seit 2012 Vertrieb und Kundenbetreuung weltweit durch flexstructures GmbH*

Features

- Physikalisch korrekte Bewegung und Verformung von Schläuchen, Kabeln und Kabelbäumen
- IPS Cable Simulation unterstützt
 - Geometrie / Bauraum,
 - produktionstechnischer Aspekte sowie
 - des Betriebsverhaltensunterstützen
- Die Software ist hoch performant und ermöglicht interaktive Echtzeit-Simulationen.



Models courtesy of Volvo Cars



<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/mf/kabel-schlaeuche-flexible-strukturen>
<https://flexstructures.com>

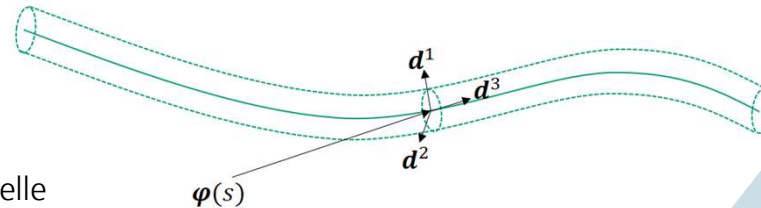


Simulation von Kabeln und Schläuchen

- IPS Cable Simulation

IPS Cable Simulation

- Geometrisch nichtlineare Balkenmodelle
- D.h. nichtlineare Dehnungsgrößen
 - Biege- und Torsions-Krümmungen
 - Zug- und Scher-Dehnungen
- Potentielle Energie



$$\mathbf{K} = 2\bar{\mathbf{p}} \circ \partial_s \mathbf{p} - \mathbf{K}_0$$

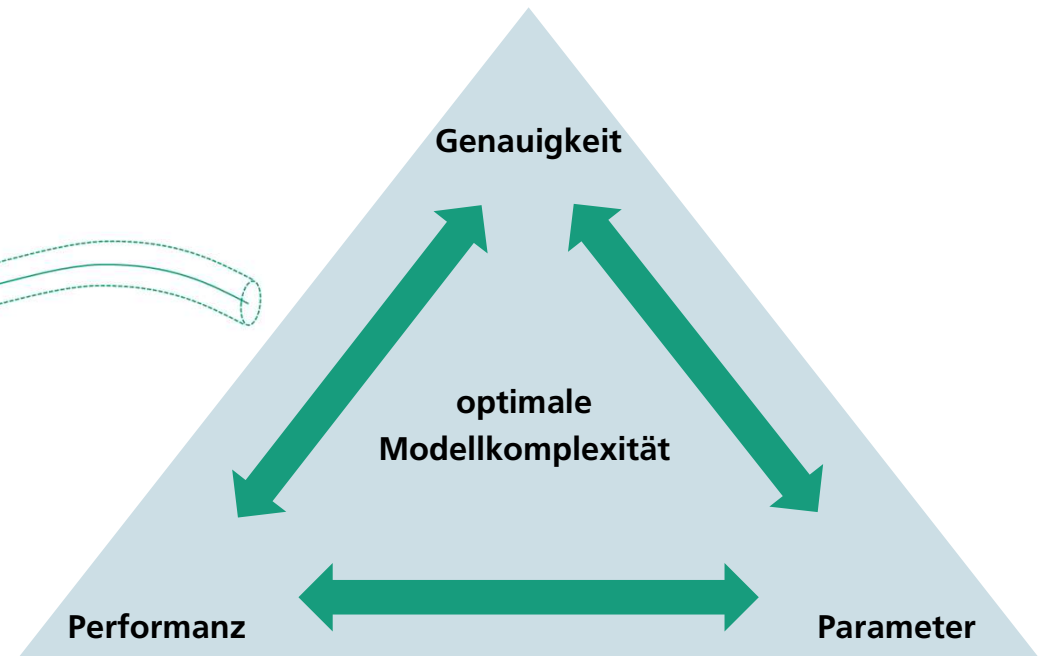
$$\mathbf{\Gamma} = \bar{\mathbf{p}} \circ \partial_s \boldsymbol{\varphi} \circ \mathbf{p} - \mathbf{e}^3$$

$$\mathcal{W}_{pot} = \frac{1}{2} \int_0^L \mathbf{K}^T \begin{pmatrix} [EI] & & \\ & [EI] & \\ & & [GJ] \end{pmatrix} \mathbf{K} ds + \frac{1}{2} \int_0^L \mathbf{\Gamma}^T \begin{pmatrix} [GA] & & \\ & [GA] & \\ & & [EA] \end{pmatrix} \mathbf{\Gamma} ds - \int_0^L [\rho A] g_0 \langle \boldsymbol{\varphi}, \mathbf{e}^3 \rangle ds$$

- mit effektiven mechanischen Parametern $[EI], [GJ], [\rho A], \dots$

Vorteile

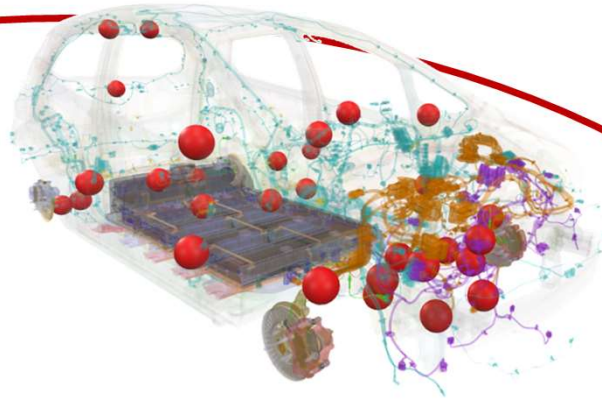
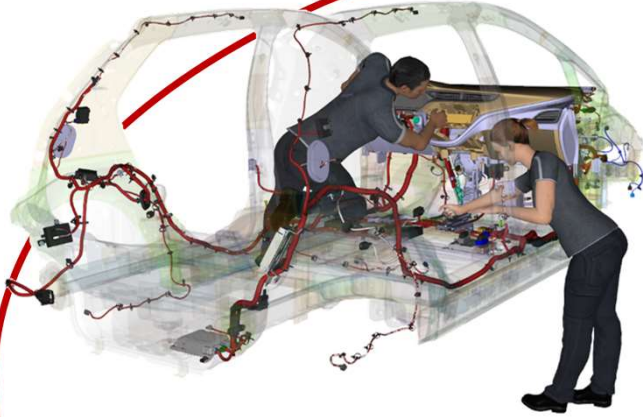
- Einfacher Modell-Aufbau, schlanker Parametersatz
- Schnelle Berechnung (echtzeitfähig)



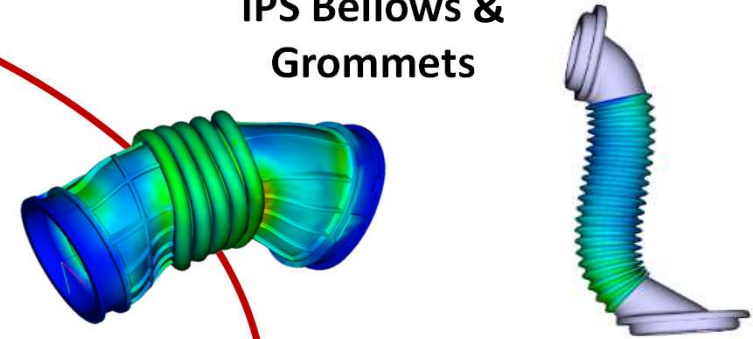
IPS Product Portfolio

IPS Cable Simulation

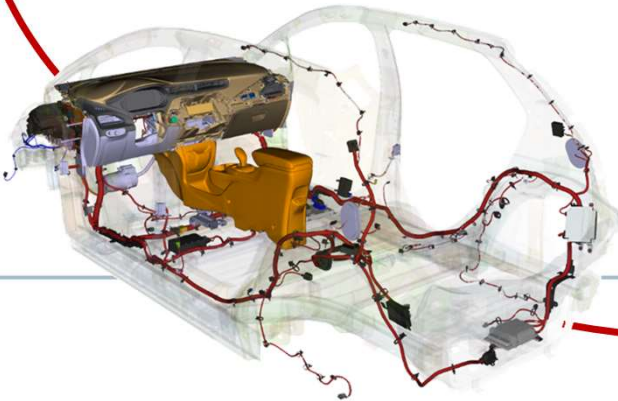
IPS IMMA



IPS Bellows & Grommets



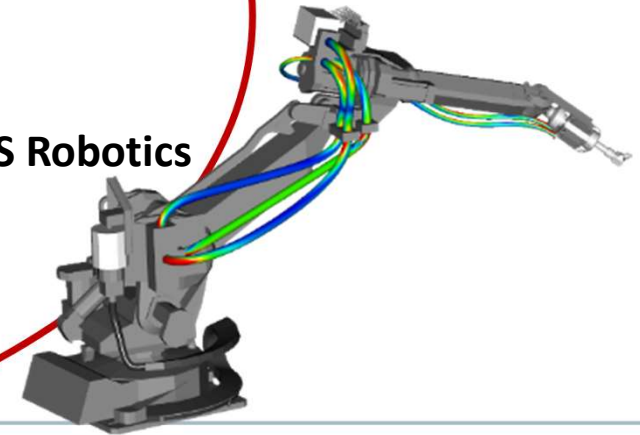
IPS Path Planner



IPS Virtual Reality



IPS Robotics

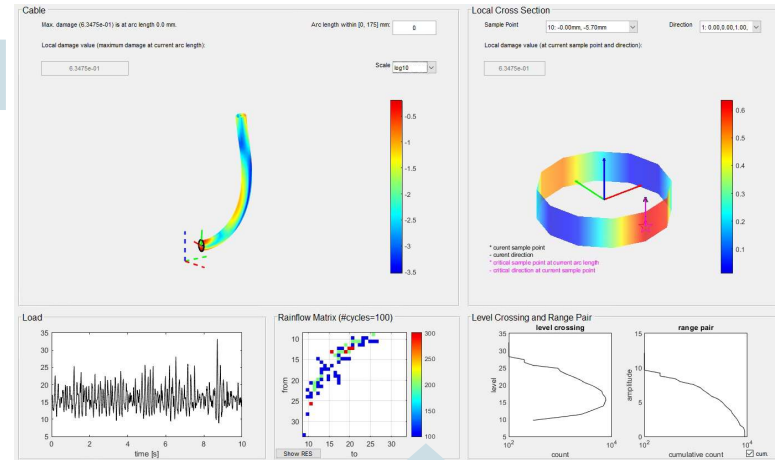
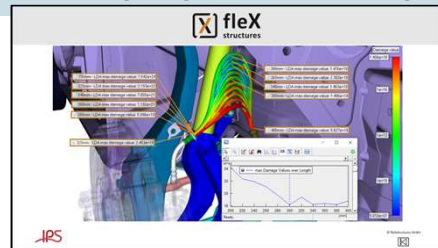
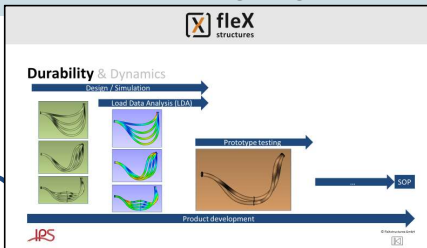
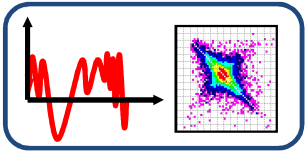
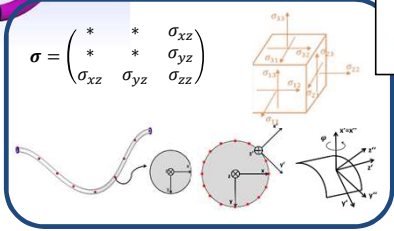
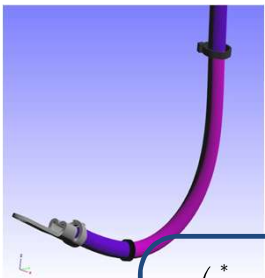


Betriebsfestigkeit von Kabeln

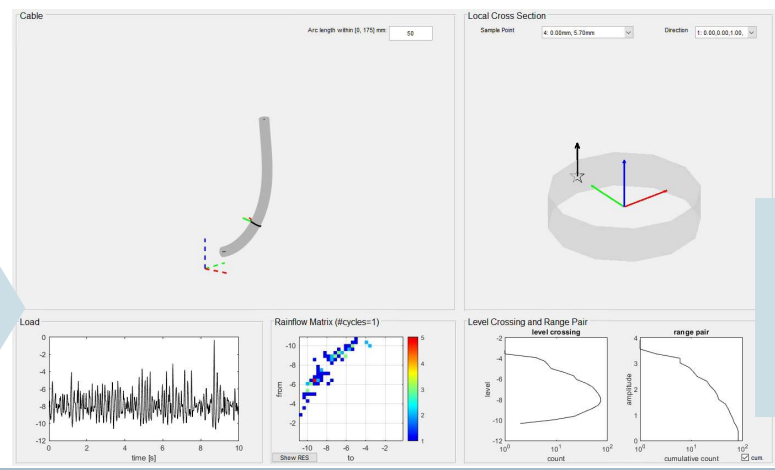
- Vergleichende Beanspruchungsanalyse
- Absolute Vorhersagen (mit Kabel-Wöhlerlinien)

Kabel-Simulation und Beanspruchungsanalyse

Vergleiche Pseudo-Schädigungen zwecks Verlegungs-Optimierung

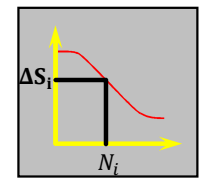


- Simuliere lokale Lasten
- Berechne Vergleichsspannung ("stress recovery")
- Zähle Lastzyklen



Schädigungsrechnung

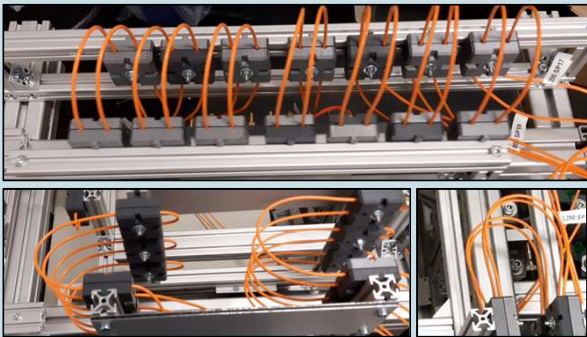
- $$D = \sum_l D^{(l)} = \sum_l n^{(l)} \frac{1}{N_0} \left(\frac{S^{(l)} + M \cdot S_m^{(l)}}{S_0} \right)^k$$
- Mit generischer Wöhlerkurve



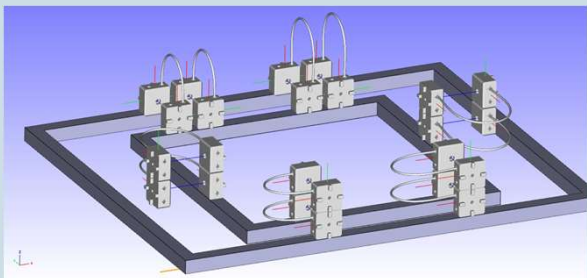
Kabel-Simulation und absolute Lebensdauer-Vorhersage

Ermittlung einer Kabel-Wöhlerkurve

Reale Lebensdauer-Versuche



Virtuelle Lebensdauer-Versuche



To vanishing mean load (amplitude correction):

$$S_{ij}^{(l)} \rightarrow \tilde{S}_{ij}^{(l)} = S_{ij}^{(l)} + M \cdot S_{m,ij}^{(l)}$$

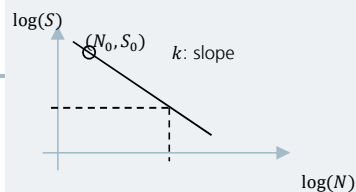
To constant amplitude load (equivalent load):

$$N_{ij}^{(l)} \rightarrow N_{ij} = \sum_l N_{ij}^{(l)} \text{ and } \tilde{S}_{ij}^{(l)} \rightarrow S_{ij} = \left(\sum_l \frac{N_{ij}^{(l)}}{N_{ij}} (\tilde{S}_{ij}^{(l)})^k \right)^{\frac{1}{k}}$$

To maximum damage:
(N_{ij}, S_{ij}) → (N_i, S_i)

$$\text{Ansatz } \log(N_i) = \log(N_0) - k(\log(S_i) - \log(S_0)) + \varepsilon_i$$

- Residuum ε_i mit Standardabweichung σ
- Unbekannte Parameter k , M , N_0 and σ

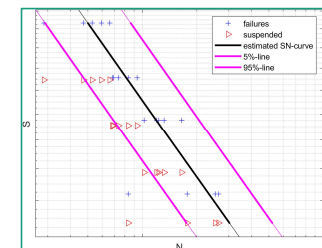
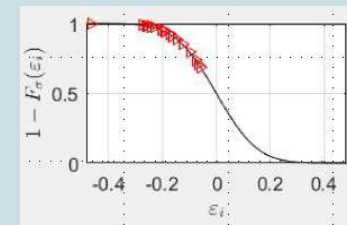
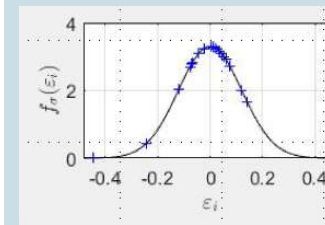


Parameter-Ermittlung: **Maximum Likelihood Schätzer**

- Likelihood Funktion

$$L = \prod_{\text{Failures}} f_{\sigma}(\varepsilon_i) \cdot \prod_{\text{Suspended}} (1 - F_{\sigma}(\varepsilon_i)),$$

- mit Dichte f_{σ} des Residuums ε_i
- und Verteilung F_{σ} des Residuums ε_i

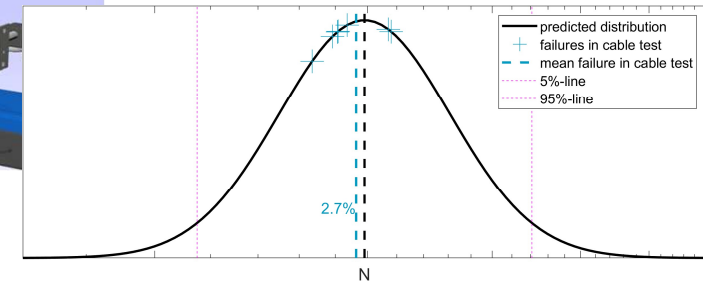
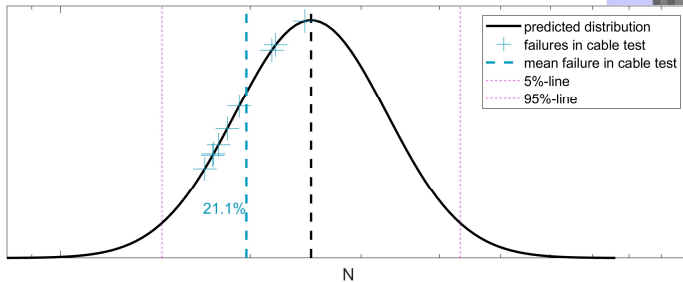
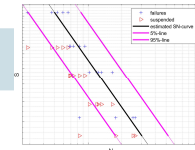
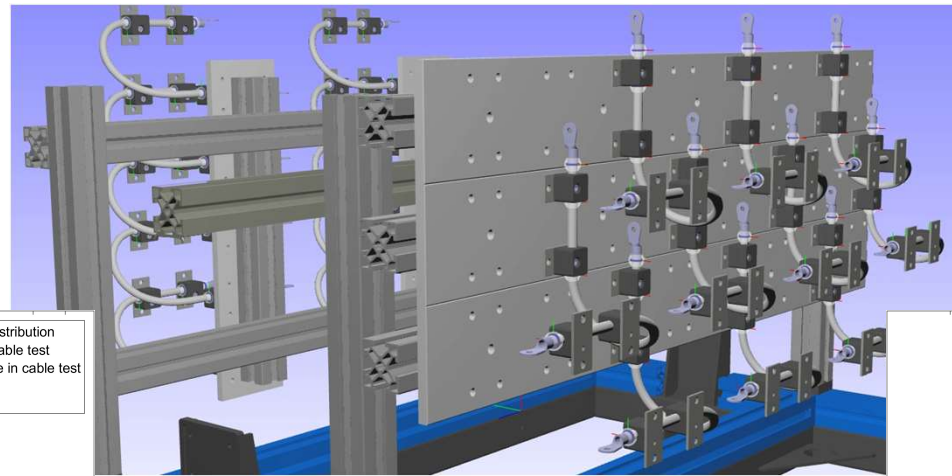
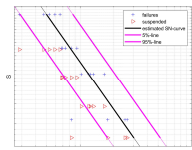
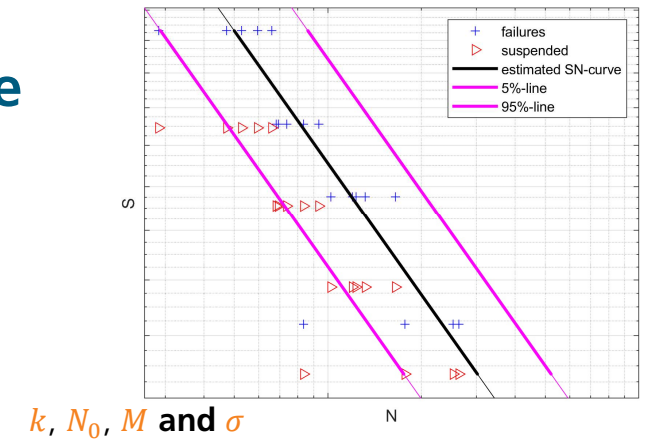


Kabel-Simulation und absolute Lebensdauer-Vorhersage

Validierung

Vorhersage für zuvor nicht geprüfte Kabel-Führung

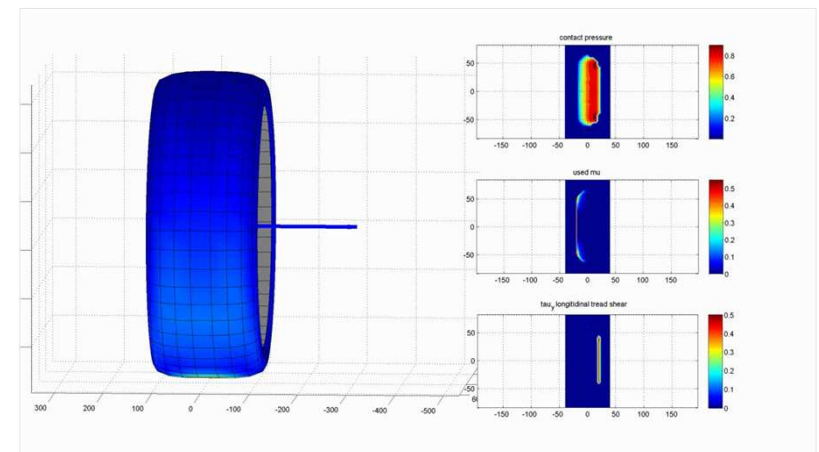
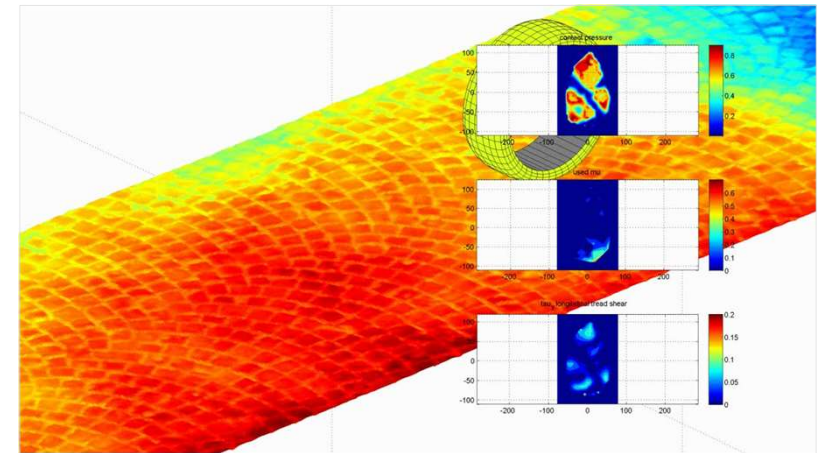
- Validierungs-Kampagne durch Gebauer & Griller Kabelwerke



Fraunhofer ITWM / Bereich MF CDTire

■ Anwendungen

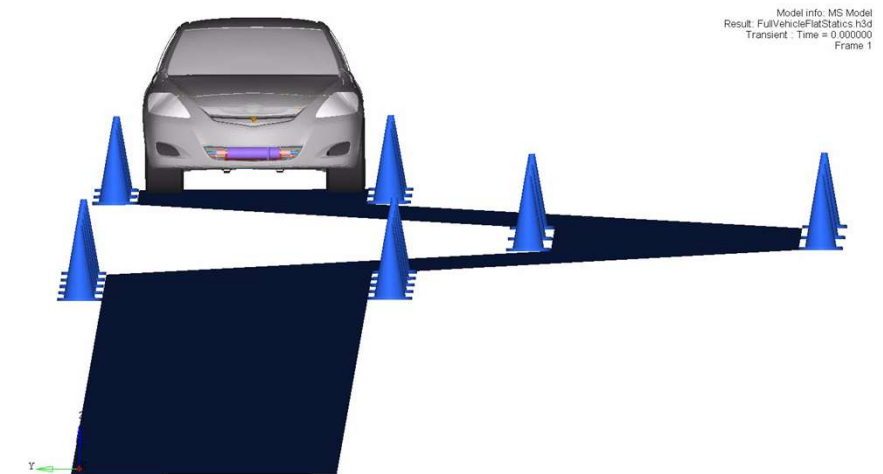
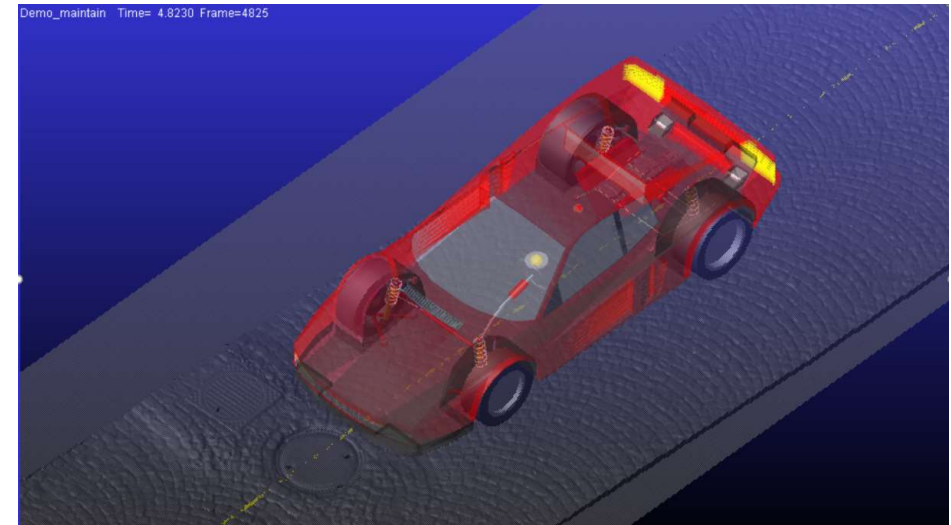
- Fahrdynamik, Komfort, NVH & Betriebsfestigkeit
- Rollwiderstand und Abrieb
- Missbrauch
- Zustandsänderungen: z.B. plötzlicher Druckverlust



Introduction

CDTire: a plug-in into various CAE tools

- Altair **MotionSolve**
- Altair **NVH Director / OptiStruct**
- Dassault Systemes **SIMULIA/Simpack**
- IPG **CarMaker**
- MathWorks **MATLAB / Simulink**
- Mechanical Simulation **CarSim**
- MSC **Adams**
- MSC **Nastran**
- Siemens Simcenter **Samcef**
- Siemens Simcenter **3D Motion**
- VI-grade **VI-CarRealTime**



Introduction

CDTire models and toolboxes

Mechanical models

- CDTire/3D detailed shell-based 3D structural model
- CDTire/Realtime hard real time model with obstacle enveloping
- CDTire/MF++ enhanced Magic Formula with temperature effects

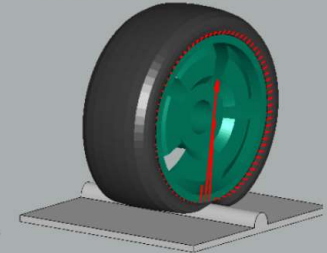
Thermo-dynamical model

- CDTire/Thermal 3D thermo-dynamical model for temperature propagation

Toolboxes

- CDTire/PI generates CDTire/3D and CDTire/Realtime models
- CDTire/NVH derives linear models with rotational effects from CDTire/3D
- CDTire2MF derives MF models from CDTire/3D
- CDTire2RT derives CDTire/Realtime models from CDTire/3D

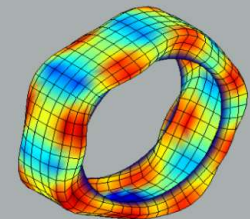
Local rim forces prediction



Thermo-mechanical model



NVH: Linearization of rolling tires

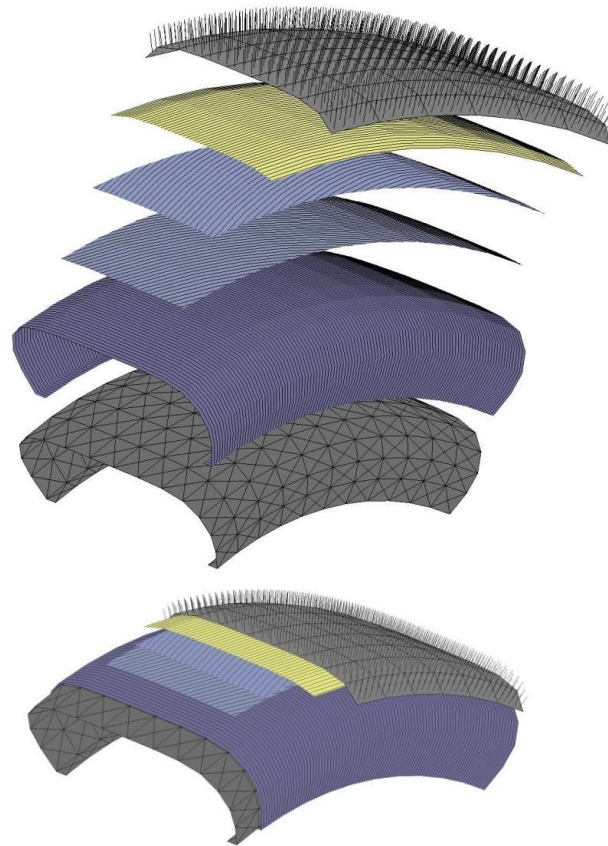


CDTire/3D

The base tire model of our tool chain

- Functional layer modeling

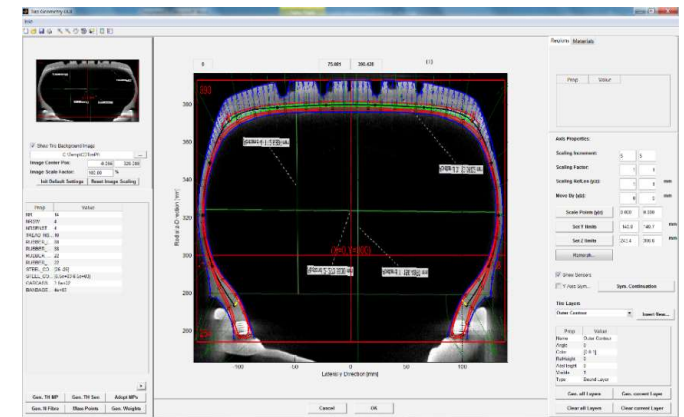
- Tread (brush type)
- Cap ply
- Belt 1
- Belt 2
- Carcass
- Innerliner + matrix



- Condensed into one shell

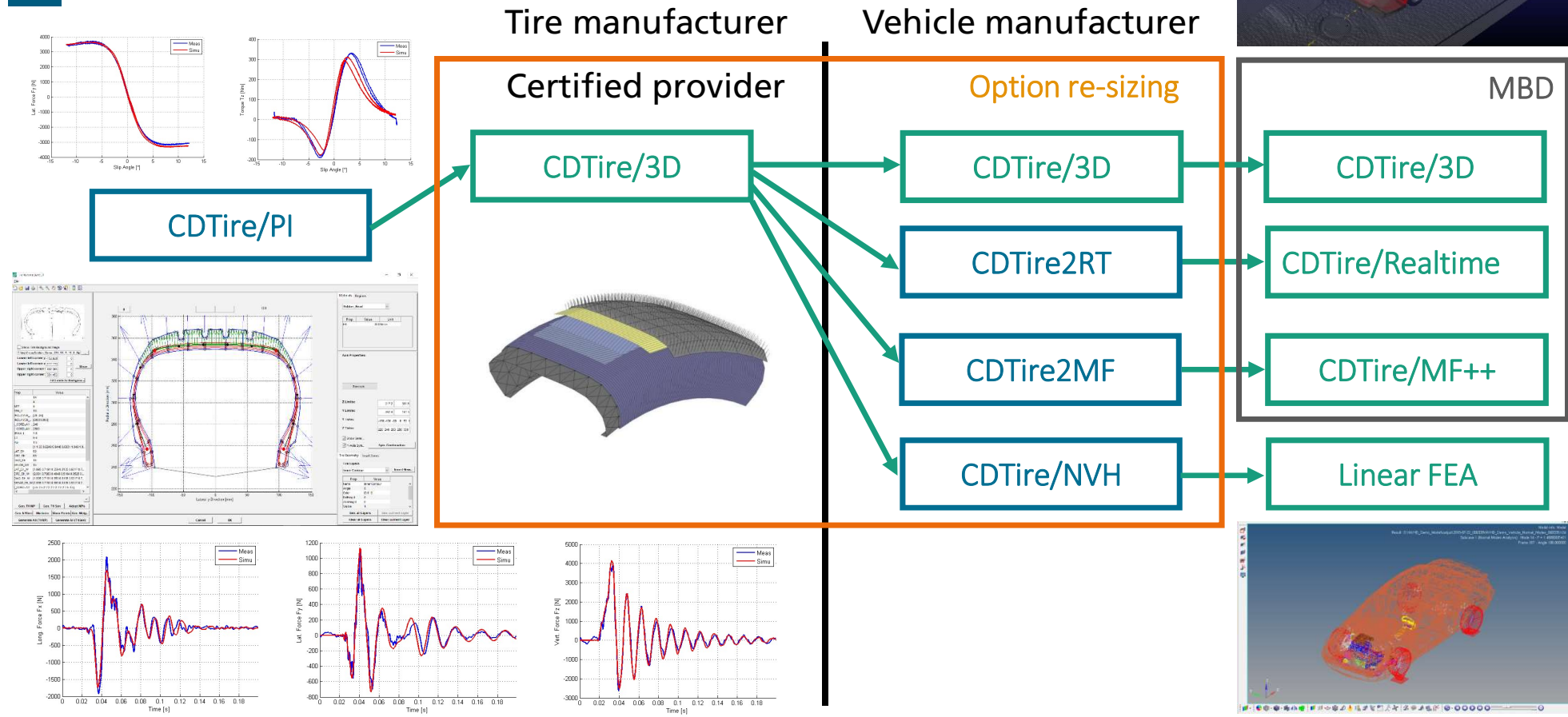
- Highlights

- Bead to bead inflation pressure application
- Strict separation of material and geometry
- Re-mounting / re-sizing



CDTire tool chain for fast virtual prototyping

In a nutshell: one base model can cover all applications

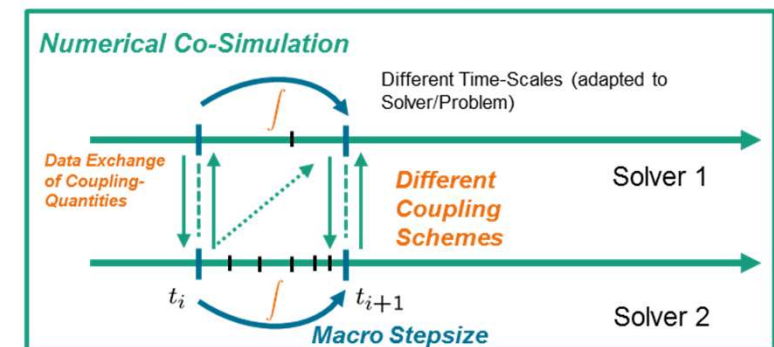
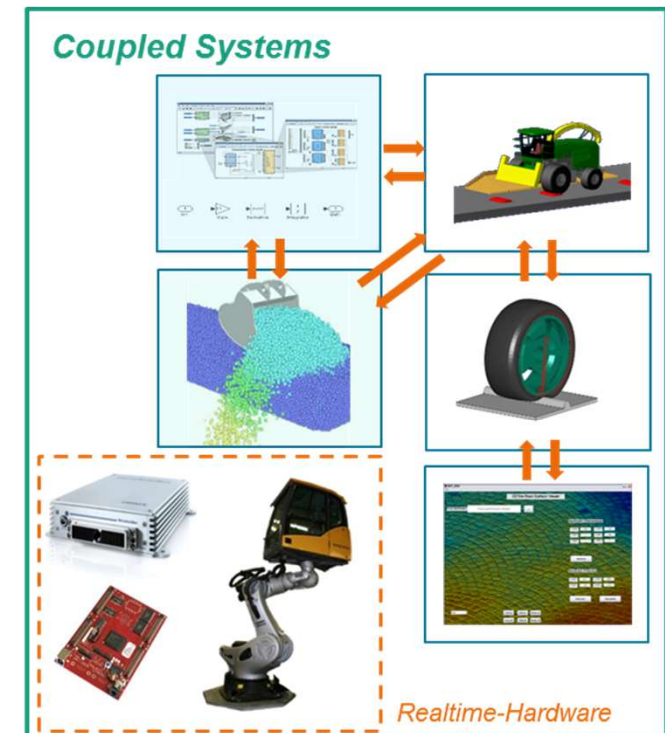


Coupled System Simulation / Simulator RODOS

Coupling Systems and Solvers

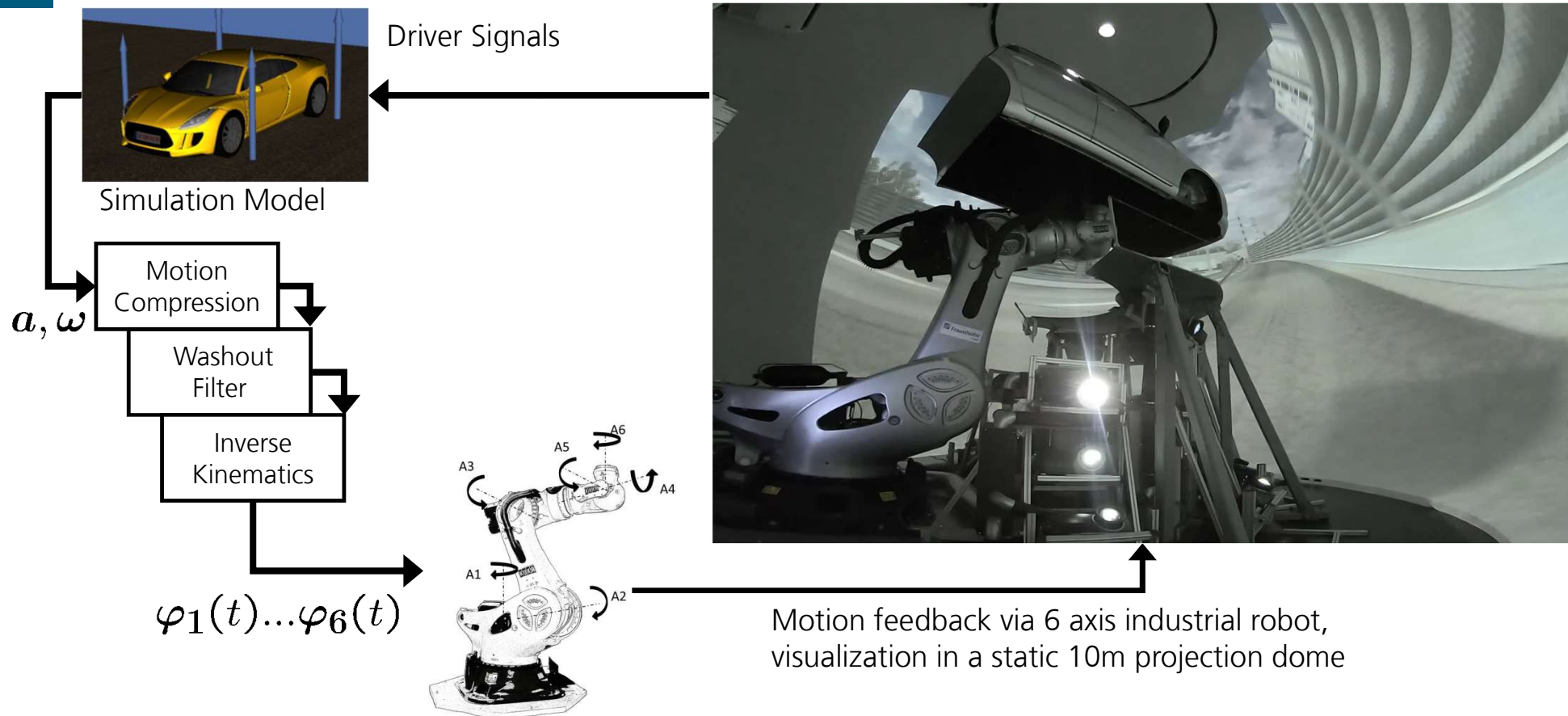
»Co-Simulation« – ITWM/MF Activities

- Simulation methods and frameworks for system coupling and co-simulation of different models from different domains (»multi-physics«) and of different nature - potentially with real hardware as well.
- Coupling with Hardware – Application Fields:
 - HiL-/SiL-/MiL-/.... Tests
 - Interactive Simulations
 - Monitoring and Predictive Maintenance (on-board)
- Numerical methods for
 - different coupling-schemes, inter-/extrapolation, stabilization-strategies, macro-stepsize-control, parallelization
- Software-coupling of domain-specific simulation tools



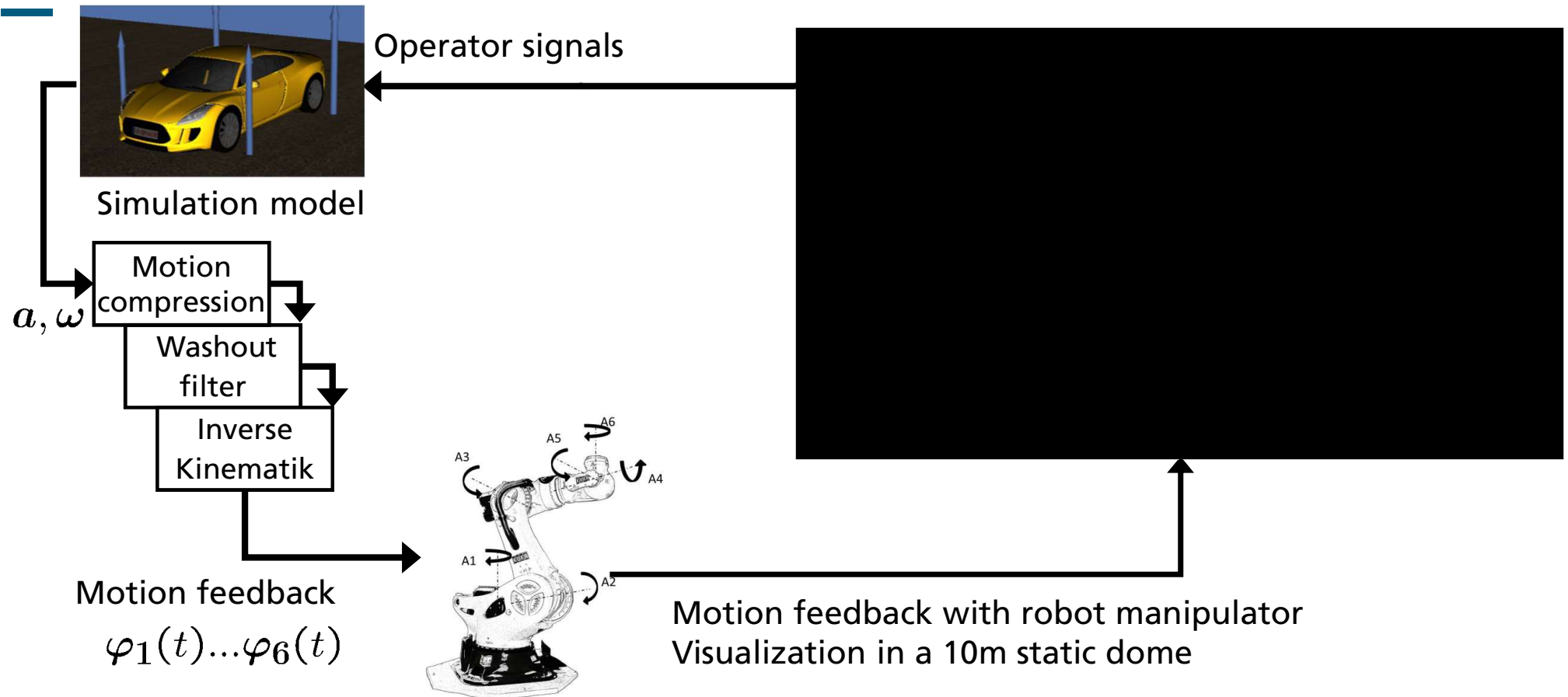
Interactive Driving Simulation – ITWM’s RODOS®

Co-Simulation @ RODOS®

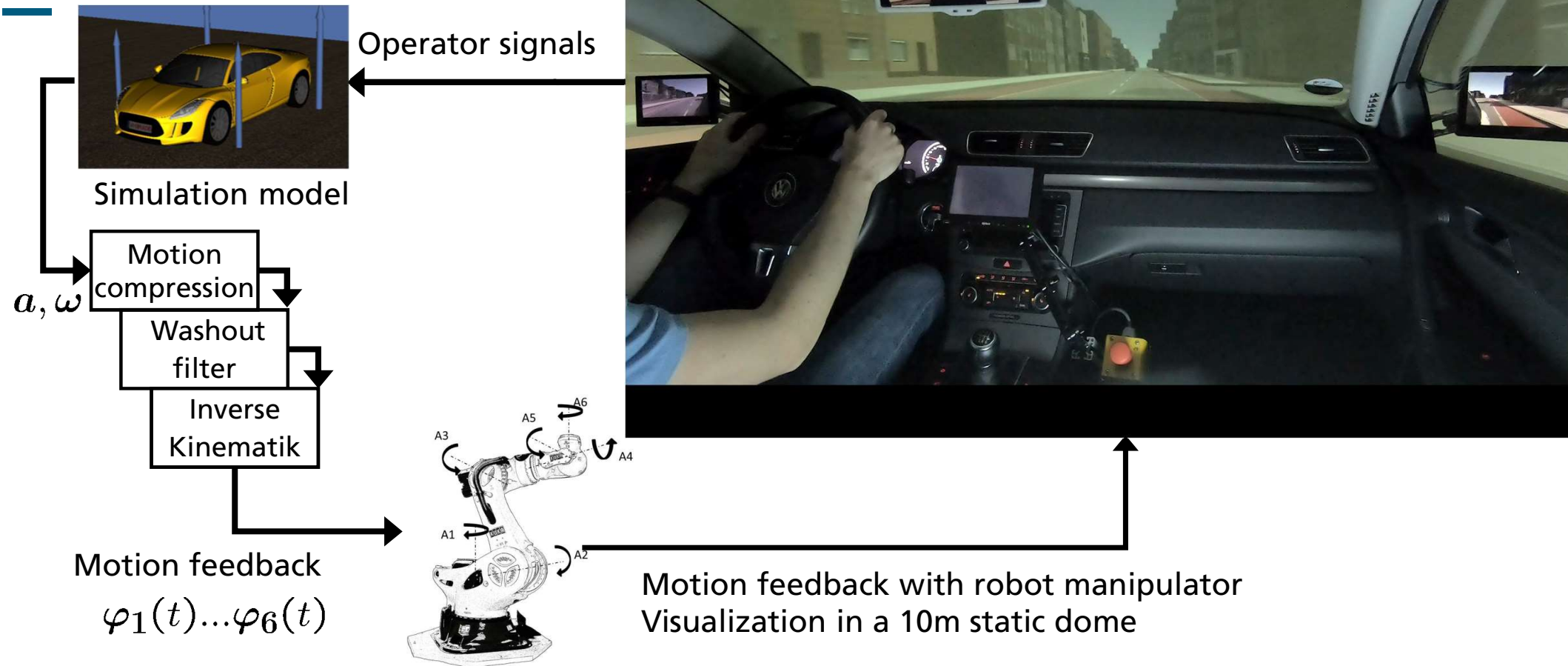


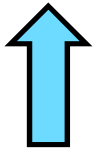
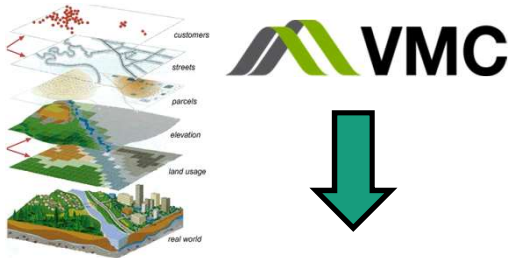
Interactive Driving Simulation – ITWM’s RODOS®

Co-Simulation @ RODOS®



RODOS / interactive simulation





**Erprobung,
Dauerlauf,
Flotte,
Kunde,
.....**

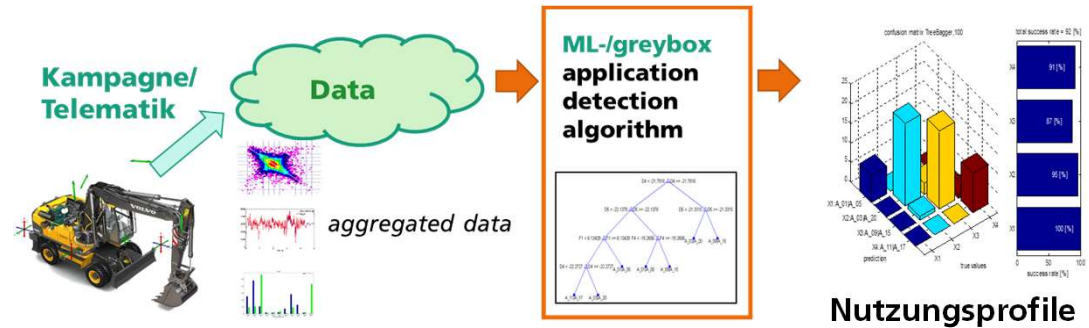
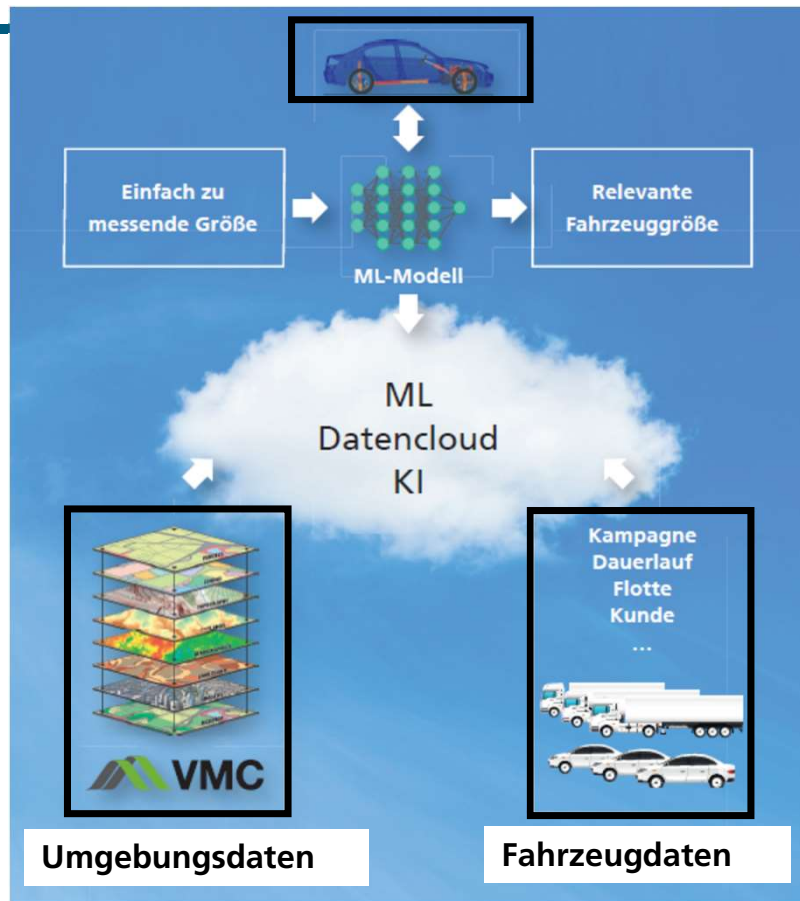
The image shows a blue-bordered box containing the text 'Erprobung, Dauerlauf, Flotte, Kunde,' in bold blue font. To the right of the text are illustrations of three cars (two sedans and one hatchback) and a white truck with a trailer.

Beispiele / Aktivitäten am ITWM

- ML-Modelle zur Applikationsklassifikation und Erkennung
- Approximation dynamischer Fahrzeugsysteme
- Datenbasierte Ersatzmodelle zur Effizienzsteigerung
- Bayes'sche Modellierung zur Nutzung von Vorerfahrung in der Erprobung / Absicherung
- ...

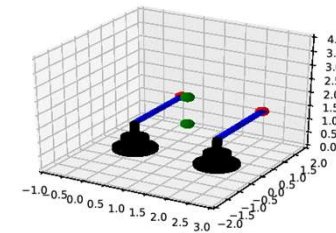
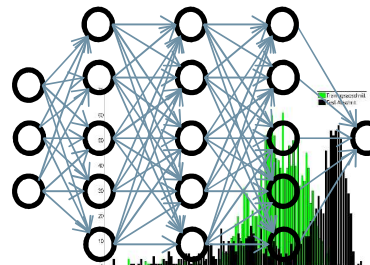


Machine Learning damit die Maschine hält! KI in der Fahrzeugentwicklung



$$x_t = A \cdot x_{t-1} + B \cdot u_{t-1} + \zeta(x_t, u_t)$$

$$y_t = C \cdot x_t + D \cdot u_t + \eta(x_t, u_t)$$



Herausforderung: Weil die Produktion streut, ist der Zuverlässigkeitsnachweis teuer

Zuverlässigkeit von Systemen & Komponenten im ppm-Bereich

Streuende Produktion

- Keine Null-Fehler-Teile
- Six Sigma
- FMEA: Viele Ausfallstellen/-Ursachen
- Verschiedene Fahrzeugkonfigurationen

Teurer Zuverlässigkeitsnachweis

- Frühe Prototypen sind teuer
- Viele Bauteile und lange Prüfdauern notwendig



Um den Nachweis effizient zu planen, müssen viele Fragen beantwortet werden

Zuverlässigkeit von
Systemen &
Komponenten
im ppm-Bereich

Fragen zum effizienten Nachweis

„Wie viele Prototypen müssen getestet werden?“

„... bis zu welcher Prüfdauer?“



„Lieber viele kurze oder wenige lange Versuche?“

„Wie geht man mit Durchläufern um?“

Usw.

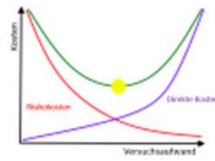



Weitere Informationen zu Jurojin





Modul
AUSLEGUNG GEGEN VARIABLE LASTEN

© Fraunhofer ITWM
JUROJIN Fraunhofer ITWM



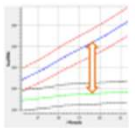

Modul
**VERSUCHSPLANUNG
& RELIABILITY DEMONSTRATION**

© Fraunhofer ITWM
JUROJIN Fraunhofer ITWM



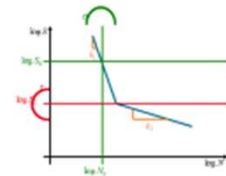

Modul
RELIABILITY ESTIMATION

© Fraunhofer ITWM
JUROJIN Fraunhofer ITWM



Modul
GARANTIEDATENANALYSE

© Fraunhofer ITWM
JUROJIN Fraunhofer ITWM



Modul
WÖHLERAUSWERTUNGEN

© Fraunhofer ITWM
JUROJIN Fraunhofer ITWM



Modul
NUTZUNG VON VORERFAHRUNG

© Fraunhofer ITWM
JUROJIN Fraunhofer ITWM

Weitere Informationen finden Sie unter:

www.itwm.fraunhofer.de/jurojin

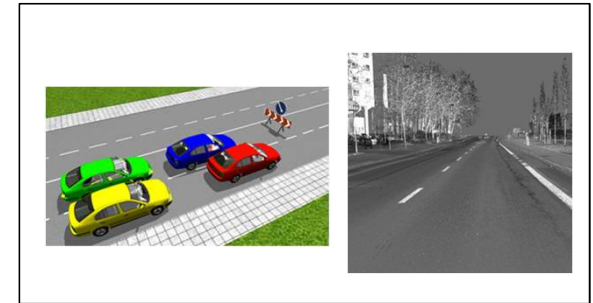
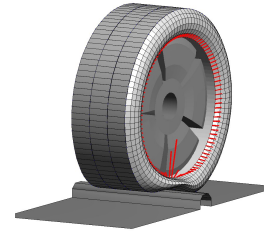
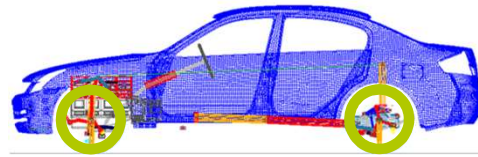
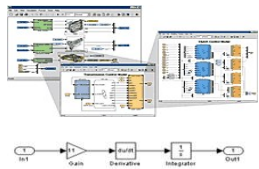
Offen





Nutzungsvariabilität und Umgebungsdaten

Digitale Umgebungsdaten für die Fahrzeugentwicklung



Fahrer (virtuell oder real)

Fahrzeug

Reifen

Umgebung / Straße / Verkehr

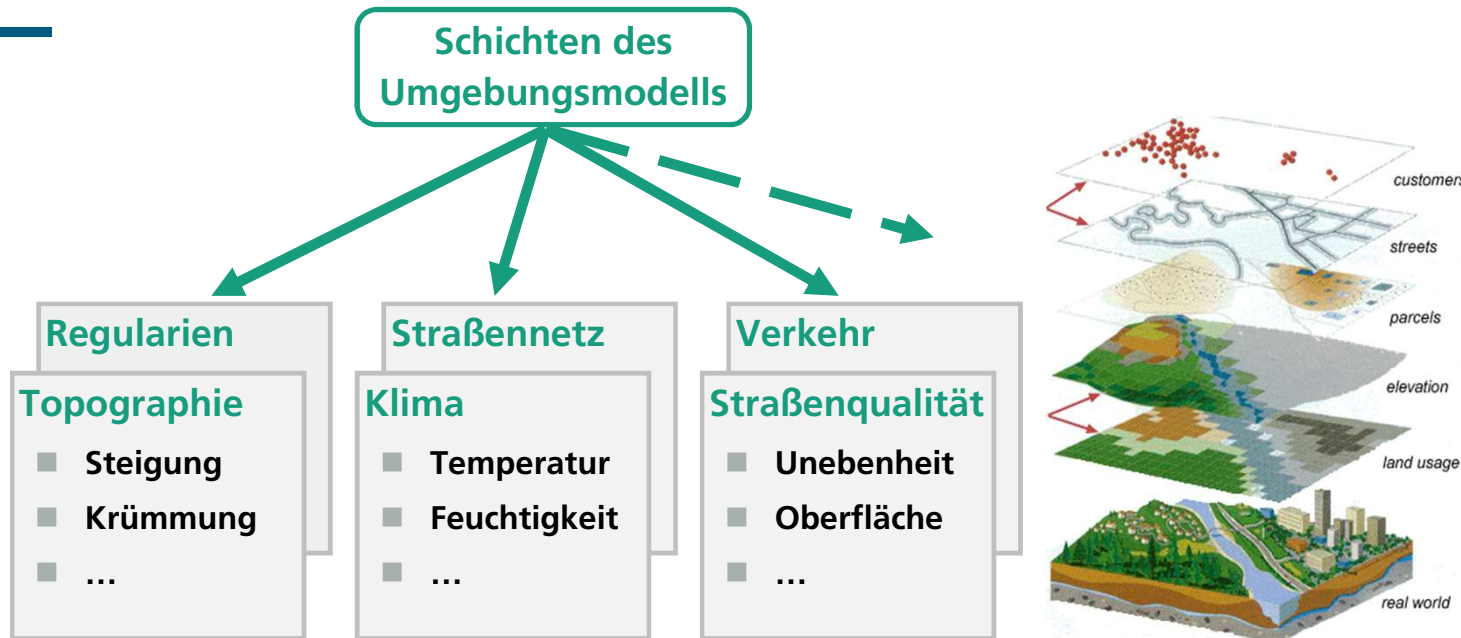
Nutzungs- und Umgebungsdaten:

- „Was kommt alles vor?“
- „Und wie häufig?“



→ Statistisch valide Absicherung von Betriebsfestigkeit, Energieeffizienz und automatisierten Fahrfunktionen

VMC® - Virtual Measurement Campaign



VMC
GeoStatistics

Statistische Analyse von Regionen und Routen

VMC
GeoLDA

Geo-referenzierte Lastdatenanalyse

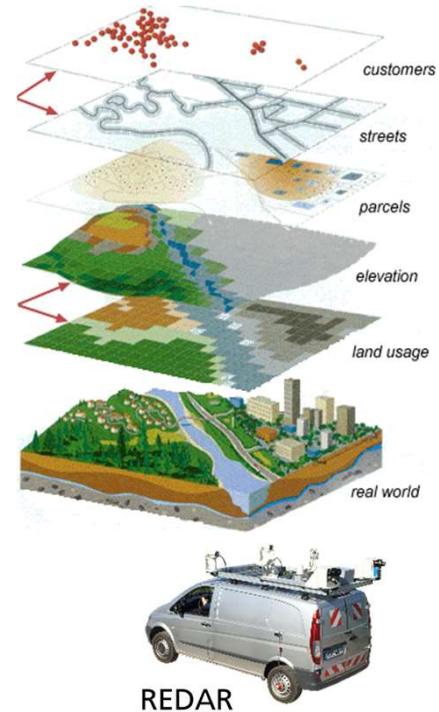
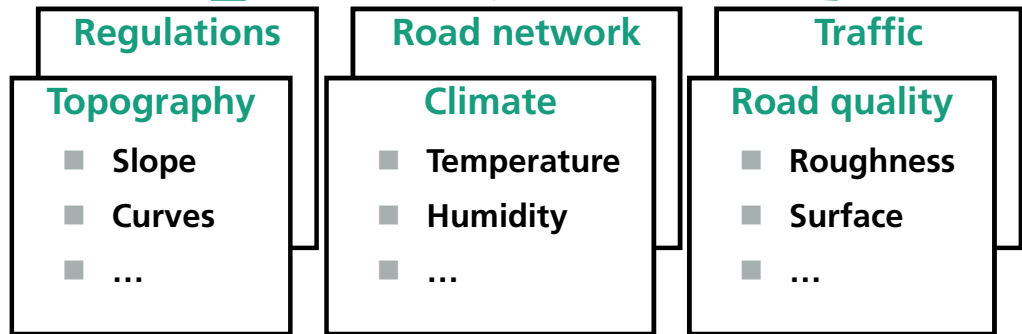
U-Sim

Simulation der Beanspruchungsverteilung über Nutzungsarten und Ableitung von Testszenarien

Datenquellen in VMC u.a.: OpenStreetMap, HERE Technologies; ASTER Global Digital Elevation Model, NASA SRTM, DLR and Airbus TanDEM-X Mission; University of East Anglia, Norwich(UK), University of California WorldClim - Global Climate Data; Swedish Transport Administration (Trafikverket); Finnish Transport Agency, Finnish Transport Agency, "Bundesanstalt für Straßenwesen" (BASt), Fraunhofer ITWM measurements, 3D Mapping Solutions GmbH ; Government of South Australia, Government of Western Australia, Department of Transport, Government of Victoria/Australia, Government of Queensland/Australia, Government of Northern Territory/Australia, New Zealand Transport Agency;...

<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/mf/digitale-umgebungsdaten>
<https://www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/mf/produkte-und-leistungen/vmc>

VMC® - Virtual Measurement Campaign



VMC GeoStatistics
statistics of regions & routes

VMC GeoLDA
Load data analysis with geo-data

U-Sim
usage simulation, statistics and derivation of test schedules

VMC LinTim
Lineplanning and Timetabling

VMC MicroTraffic
Dynamic and stochastic traffic simulation on complex road networks

VMC Road & Scene Generator
Roads, routes, environments and scenes for vehicle engineering

VMC Simulation
Road-profiles, speed-profiles, energy consumption, emission and loads

Nutzungsvariabilität und Umgebungsdaten



- Nutzung von **Betriebsdaten und geo-referenzierten Umgebungsdaten**
 - geo-referenzierte Datenanalyse & Nutzungsvariabilität - VMC®, USIM
 - Simulation der Nutzungsstatistik: **'was passiert und wie oft'**
 - Geo-referenzierte **Betriebsfestigkeits-LDA**
 - Planung und Auswertung von Messkampagnen
 - Ableitung **statistisch abgesicherter Prüfscenarien**
- Simulation von Fahrzeugnutzung und Verkehrssystemen - **VMC® Simulation**
 - Nutzungsbezogener Energiebedarf und **Energieeffizienz**
 - Systemzuverlässigkeit (virtuelle Szenarien, **Absicherung von Assistenzsystemen und autonomer Fahrfunktionen**)
 - Optimierung der **Betriebsstrategie**
 - Fahrzeuge, Vernetzung und Infrastruktur
 - **Verkehrssystemoptimierung** und **Mobilitätskonzepte**

