



- X-in-the-loop Test- und Simulationsverfahren
- Assistenzsysteme zur Optimierung von Fahrsicherheit und Energieeffizienz
- Längs- und Querdynamikregelung autonomer Fahrzeuge, Fahrdynamikregelung
- Integrierte aktive Fahrwerkssysteme für multi-aktivierte und elektrische Kraftfahrzeuge
- Forschungs- und Testzentrum für antriebsstrangferne Emissionen



Ihr Ansprechpartner:

**Dr. Valentin Ivanov**

Leiter (k) des Fachgebiets Kraftfahrzeugtechnik

Tel.: +49 3677 69-3869

Mail: [valentin.ivanov@tu-ilmenau.de](mailto:valentin.ivanov@tu-ilmenau.de)



# Fahrzeugtechnik

## 1. Prüfstände (System)



### MASTER: Vier- Rollen- Leistungsprüfstand

Moderne Fahrzeuge werden mit steigendem Funktionsumfang ausgestattet, um die Sicherheit, den Komfort und die Performance zu erhöhen. Trotz der steigenden Komplexität erwarten Hersteller kurze Produktionsentwicklungszyklen bei gleichbleibender Zuverlässigkeit und einem ausgewogenen Preis-Leistungs-Verhältnis. Der Vier- Rollen- Leistungsprüfstand ist als MASTER-Knotenpunkt in einer echtzeitfähigen Prüf- und Entwicklungsumgebung eingebunden, die es erlaubt, Produkte aus unterschiedlichen Entwicklungszyklen miteinander zu testen. Dies ermöglicht eine schnellere und effektivere Entwicklung von Automobilen.



# Fahrzeugtechnik

## 1. Prüfstände (System)



### MASTER: Vier- Rollen- Leistungsprüfstand

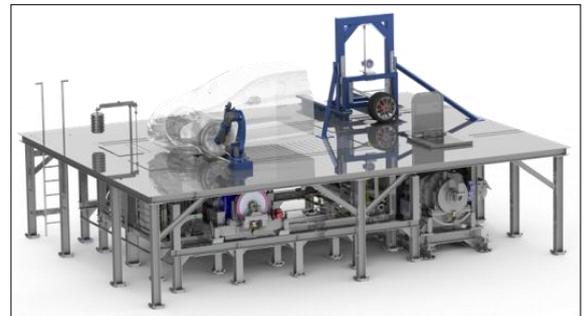
#### Technische Eckdaten

- Prüfkammer (LxBxH) 12x7, 5x4,5 m
- Klimatisierung -20 bis 45 °C
- Spitzenleistung 4x230 kW
- Rollendurchmesser vorn 48", hinten 75"
- Rad- und achslastselektiver Betrieb möglich



#### Cornermodul

- Untersuchung von längs-, quer- und vertikal-  
dynamischen Reifencharakteristiken
- Analyse von elektrischen Radantrieben bis zu 250 kW
- Experimentelle Analyse von Feder-, Dämpfer- und  
Fahrwerkseigenschaften



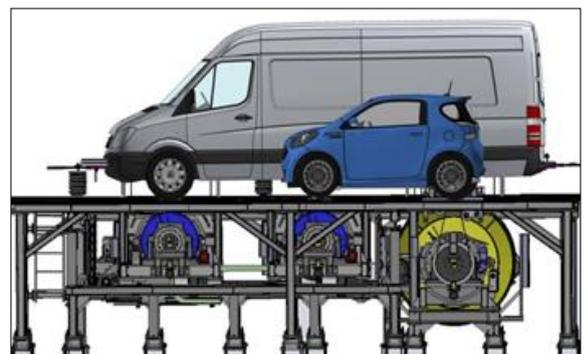
#### Umweltuntersuchungen

- Analyse von antriebsfernen Emissionen und  
Partikeln
- Automatisierte Messkopfpositionierung mithilfe  
eines Industrieroboters
- Effizienzoptimierung durch Reibungsminimierung  
an Teilsystemen für eine optimierte CO<sub>2</sub> - Bilanz  
des Fahrzeuges



#### Fahrzeugeigenschaften

- Geschwindigkeit bis 250 km/h
- Spurbreite 0,8 bis 2,3 m
- Radstand 2,1 bis 4,4 m
- Max. Radlast 1,25 t



# Fahrzeugtechnik

## 1. Prüfstände (System)



### Prüfzentrum für Fahrwerks- und Bremsentechnik

Mit Hilfe des Prüfzentrums werden interdisziplinäre Forschungsaufgaben mit Alleinstellungscharakter hinsichtlich Fahrsicherheit, Fahrkomfort und Umweltschonung wahrgenommen.

- Abbildung schwere Fahrzeuge (bis Transporter)
- Hochleistungsprüfungen und Komfortanalysen (NVH)
- Untersuchungen an Radbremsystemen und Analysen von Fahrwerkskomponenten bis hin zu Komplettachsen

#### Spezifikationen:

- Drehzahl:  $n_{\max} = 2500 \text{ min}^{-1}$
- Geschwindigkeit:  $v_{\max} = 310 \text{ km/h}$
- Antrieb:  $M_{\max} = 2300 \text{ Nm}$  (bis ca.  $1100 \text{ min}^{-1}$ )
- Trägheitsmoment:  $I_{\max} = 191 \text{ kgm}^2$
- Kühlung/Klima:  $Q_{\max} = 4200 \text{ m}^3/\text{h}$   
-20 bis +50 °C; 15-85% rel. Feuchte



### Experimentalplattform für Echtzeitkopplung

#### Modell Rollenprüfstand

Demonstrator für Echtzeitkopplung von Rollen-Prüfständen und Simulationsplattformen

- Skalierte Abbildung von Prüfscenarien für Antriebs- und Fahrwerkstechnik
- Die Echtzeitkopplung ermöglicht eine reproduzierbare realitätsgetreue Prüfung
- Untersuchung komplexer physikalischer Phänomene



#### Modell Bremsenprüfstand

Demonstrator für Echtzeitkopplung von Bremsen-Prüfständen und Simulationsplattformen

- Skalierte Abbildung von Prüfscenarien für Bremsentechnik
- Die Echtzeitkopplung ermöglicht eine reproduzierbare realitätsgetreue Prüfung
- Berücksichtigung komplexer tribologischer Eigenschaften



# Fahrzeugtechnik

## 1. Prüfstände (Komponenten)



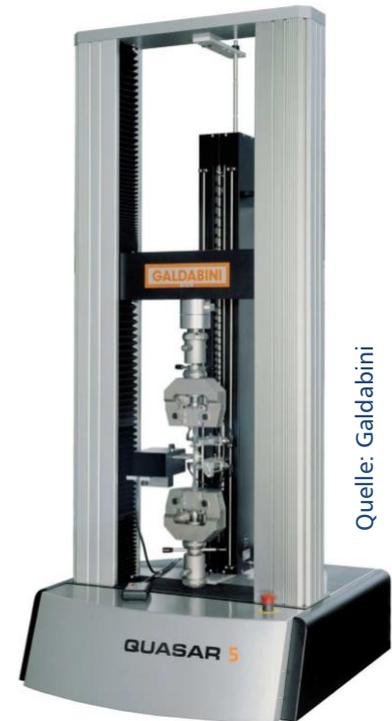
### Materialprüfmaschine

#### Galdabini Quasar 5

Maschine für Zug-Druck-Untersuchungen zur Materialcharakterisierung von Elastomeren, die speziell für Reibungsmessungen in Automobil-Schwingungsdämpfern erweitert wurde.

#### Spezifikationen:

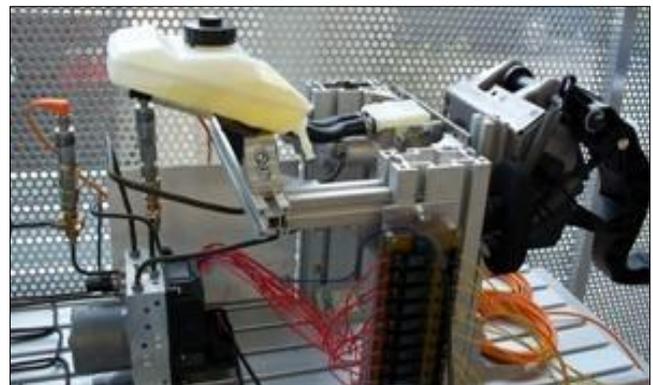
- Standard-Messmittel: Kraftsensor + Extensometer
- Zusätzliche Kraft-, Druck- und Differenzdrucksensoren
- Zusatzanbauten zum Einleiten von Lateralkräften in den Dämpfer



### Hardware in the Loop Prüfkomplex

Prüfstand zur Untersuchungen der Algorithmen für Antiblockiersysteme (ABS), elektronische Stabilitätsprogramme (ESP) und anderer Fahrsicherheitssysteme.

- Hardware: Hauptbremszylinder, vier Radbremsen, hydraulische Steuerung
- Hydraulisches Steuergerät (HCU) folgt der in MATLAB / Simulink realisierten Regelungsstrategien mit Hilfe einer dSpace-Schnittstelle



# Fahrzeugtechnik

## 1. Prüfstände (Komponenten)



### Dynamischer Fahrsimulator

#### Simulator Mock-Up

Simulator Plattform zur Untersuchung von Nutzerakzeptanz verschiedener Assistenzsysteme und Mensch-Technik-Interaktionen (MTI oder HMI).

Aufbau:

- Umgebungsvisualisierung mittels 98" 4K Bildschirm
- aktives Lenkrad Fa. Sensodrive
- Pedale (Gas, Bremse) / aktive Pedale in Planung

Funktion:

- Realisierung einer detaillierten Gesamtfahrzeugsimulation mit beliebigen Software-Tools (IPG CarMaker / PreScan / AMESim)
- CAN-Kommunikation ermöglicht direkte Beeinflussung der Lenkeigenschaften in Form von Steifigkeit, Dämpfung und Reibung
- Hardware-Kommunikation (dSpace / National Instruments): Echtzeitübertragung von Lenkwinkel und -moment an die Simulationsumgebung
- Rückgekoppelt aktive Verstellung des Lenkrades

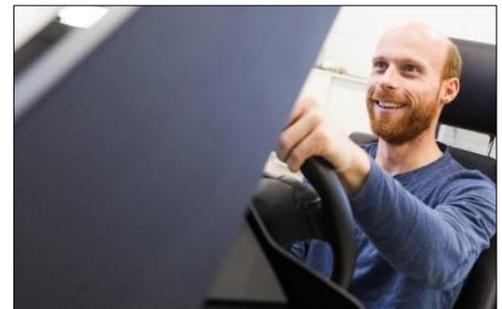


#### Hexapod-Bewegungssystem

Erweiterung des Simulator Mock-Ups um ein elektrisches Hexapod-Bewegungssystem zur spürbaren und realitätsgetreuen Fahrdynamiksimulation.

Forschungsbereiche:

- Entwicklung neuartiger Fahrdynamikregel- und Fahrerassistenzsysteme
- Akzeptanzuntersuchungen neuer Fahrsysteme
- Komplexe und realistische Mischverkehrssimulationen
- Kooperatives Fahren unter „Human-in-the-Loop“



#### Spezifikationen Bewegungssystem:

Richtung	Auslenkung		Geschwindigkeit	Beschleunigung
Longitudinal	-0,499 m	+0,628 m	+/- 0,79 m/s	+/- 7,00 m/s <sup>2</sup>
Lateral	-0,506 m	+0,506 m	+/- 0,81 m/s	+/- 7,00 m/s <sup>2</sup>
Vertikal	-0,383 m	+0,372 m	+/- 0,55 m/s	+/- 10,00 m/s <sup>2</sup>
Wanken	-24,01 deg	+24,01 deg	+/- 34,3 deg/s	+/- 250 deg/s <sup>2</sup>
Nicken	-25,05 deg	+28,02 deg	+/- 37,4 deg/s	+/- 250 deg/s <sup>2</sup>
Gieren	-27,25 deg	+27,25 deg	+/- 41,3 deg/s	+/- 500 deg/s <sup>2</sup>



# Fahrzeugtechnik

## 1. Prüfstände (Komponenten)



### Schwingungsprüfanlage

TIRA TV 50350-120

Untersuchung von Bauteilschwingungen  
und Dauerhaltbarkeit

**Spezifikationen:**

- Nennkraft: Sinus: 2700 N; Schock: 4000 N
- Schwingweg max. 25,4 mm
- Probengewicht bis 25 kg



### Klimaprüfkammer

FEUTRON 3636/17

Klimatische Untersuchung von Bauteilen

**Spezifikationen:**

- Kammervolumen 600l
- (770x1020x745) mm
- Probengewicht 3x30 kg
- Temperaturbereich (-75...180) °C
- Feuchtebereich (10...95) %
- Änderungsgeschwindigkeit  $\pm 5K$





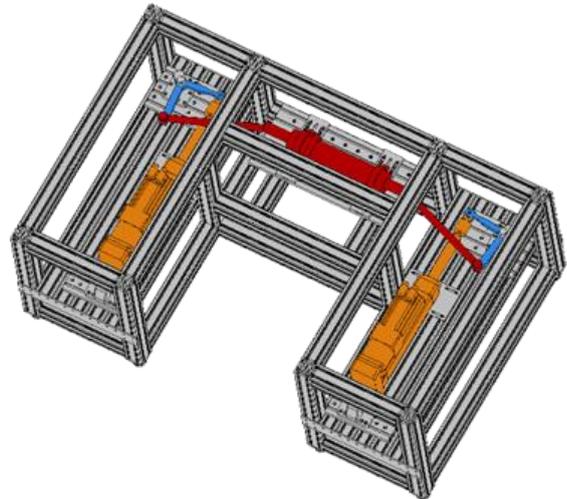
### Lenkungsprüfstand

#### Forschungsbereiche

- Statistische und dynamische Belastungsszenarien für Lenkunterstützungs- und Aktuierungssystemen
- Leistungs- und Wirkungsgradmessungen

#### Spezifikationen

- Elektro-mechanische Aktuatoren mit max. 17,8 kN
- 300 mm Verfahrweg mit bis zu 267 mm/s
- Konstruktive Realisierung einer Lenkinematik
- Max. Einschlagwinkel: ca. 30°
- Spurbreiten und Spurhebellängen aller Fahrzeugklassen abdeckbar (Kleinwagen bis SUV)



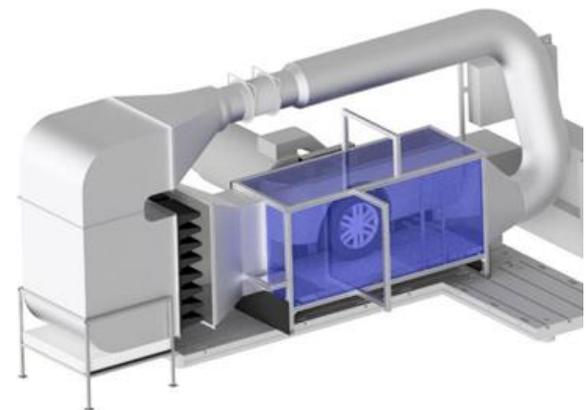
### Strömungsprüfstand

#### Forschungsbereiche

- Validierung von Turbulenz-, und Partikelmodellen (CFD)
- Visualisierung und Validierung von Partikelprofilen (Partikelmesstechnik / PIV)
- Analyse von Partikelabscheidungsmechanismen

#### Spezifikationen

- Maximaler Volumenstrom: 7400 m<sup>3</sup>/h entspricht 5 m/s im Prüfplenum
- Antriebsmaschine:  
P<sub>max</sub> 135 kW / M<sub>max</sub> 1740 Nm /  
n<sub>max</sub> 2600 1/min
- Festkörper- und Flüssigseeding

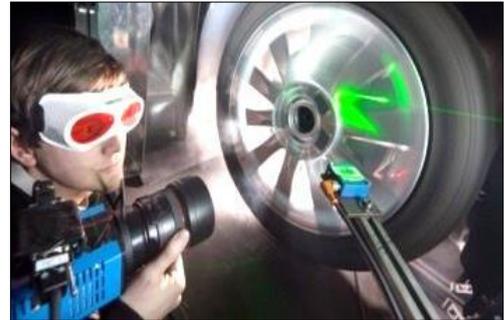




### Particle Image Velocimetry (PIV) - Strömungsmesstechnik

2D/3D – Strömungsvisualisierung für diverse fahrzeug-technische Anwendungen

- Laser: Doppelpuls laser Nd:YAG 200 mJ/Puls bei 532 nm, 15 Hz
- Kamera: 2x 2048x2048 Pixel, 4 GB, 14 Bit, 15.56 fps, 400 ns Interframing-Zeit
- Optik: Beweglicher Spiegelarm, divergente Lichtschnittoptik, 35/50/85mm AF Objektive
- Zubehör: Partikel Generator, 1  $\mu\text{m}$   
2x motorisierter Scheimpflug Tilt Adapter  
X-Z Traversierung
- Rechentechnik: Synchronisationseinheit, Workstation
- Software: VidPIV + Tecplot 360



### 3D Laser Scanning Vibrometer

#### PSV 400 3D

Berührungslose 3D Schwingungsmesstechnik, anwendbar auch beim Kunden vor Ort

- Frequenzbereich: 0 – 1 MHz
- Datenerfassung: 4 Kanäle
- Arbeitsabstand: > 0,4 m
- Objektgröße:  $\geq 1 \text{ mm}^2$
- Geschwindigkeit: 10 m/s (max.), 2,5 MHz (max.)  
0,5 m/s (max.), 350 kHz (max.)
- Signalgenerator: 512 kHz (Bandbreite)  
0 – 10V,  $\pm 5 \text{ mA}$
- Messfeld: 2x2 bis 512x512 Messpunkte
- Auflösung: 6400 FFT Linien



# Fahrzeugtechnik

## 2. Mess- und Analysesysteme



### Real-Time-Systeme für Mess- und Regelaufgaben

PXI/Compact-PCI (Fa. National Instruments)

Autobox (Fa. dSpace):

- Prozessor-Board, DAQ-Board, HIL-Board
- 7 Steckplätze (AutoBox)
- Betrieb mit 12-V, 24-V und 48-V Bordnetzen

MicroLabBox (Pr. dSPACE):

- DS1202 Prozessor-Board
- A/D und D/A I/O Boards
- CAN Kommunikation

Hardware-in-the-Loop Prüfstand (Pr. dSPACE):

- DS1006 Prozessor-Board
- A/D und D/A I/O Boards
- CAN und FlexRay Kommunikation
- Integrierte Regelung von Fahrwerksystemen



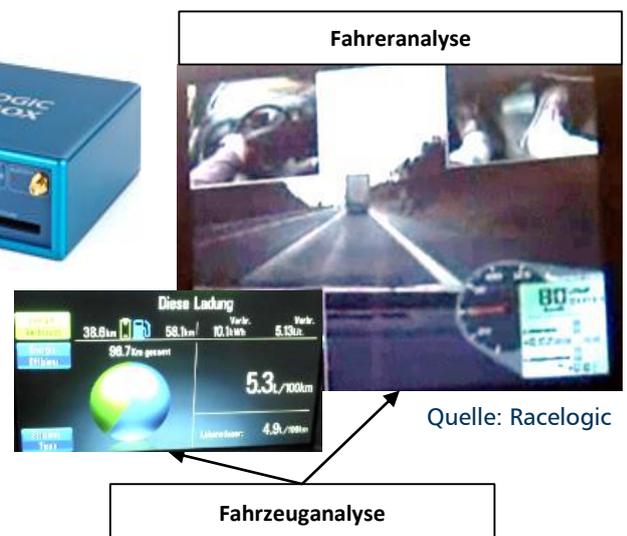
Quelle: dSpace

### Racelogic VB3i mit Video VBOX Pro

- Erfassung von Fahrzustandsgröße wie z.B. Geschwindigkeit, Quer- und Längsbeschleunigung sowie Position in Kombination mit einem 4 Kanal Kamerasystem zur Fahrdokumentation
- Zusätzliches Messequipment für hochdynamische Fahrzeugdaten und Fahrdynamikmessung
- Messrad - Correvit Datron

Spezifikationen:

- 100 Hz DGPS
- 500 K Can-Bus-Anschluss
- Datenlogger
- 4xAI, 2xAO, 2xDI, 2xDO
- 4 Kameras
- 2 Mikrofone
- Video-Overlay



Quelle: Racelogic



### Bidirektionales Telemetriesystem

System für die bidirektionale Datenübertragung zwischen Hauptstation und Testfahrzeug, das für Fahrdynamikentwicklung und Modellbildung (Analyse von Fahrverhalten) genutzt wird.

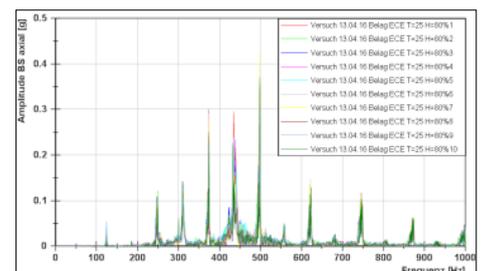
- 3km Reichweite (omnidirektional)
- Abtastrate:  
48kSps (Stand-Alone-Mode)  
24kSps (Module gekoppelt)
- Bandbreite pro Kanal  
20kHz (Stand-Alone-Mode)  
10kHz (Module gekoppelt)
- Schnittstellen: 8x Analog, 4x Digital,  
8x ICP, 4x Thermocouple, 1x CAN



### Schwingungs- und Akustikmesssystem

#### LMS SCADAS Mobile

- Mobile Testhardware für Geräusch-, Vibrations- und Lebensdauertests
- Kompakte Größe und geringes Gewicht
- Robustes Design für extreme Bedingungen und Temperaturen
- Sehr leise, Betrieb ohne Lüfter
- Bis zu 204,8 kHz Abtastrate pro Kanal
- 24-Bit-ADC-Technologie
- 150 dB dynamischer Bereich





### Kraftstoffverbrauchsmesssystem

#### Gregory Flowtronic Sensor Serie S8005

Präzise Messung des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren mit hoher Messgenauigkeit

- Einsatz an Motoren mit Benzin-, Diesel-, Alkohol- und Biokraftstoffen
- Genaue und hochdynamische Messung von minimalen Durchflussraten (Leerlauf) und hohen Volumenströmen (Volllast)
- Einsatz im mobilen Fahrversuch sowie am Prüfstand

#### Spezifikationen:

- Messbereich: 0,1 bis 250 l/h
- Messgenauigkeit Volumen: +/- 0.5%
- Volumenauflösung: 0.004 ml



Quelle: Gregory



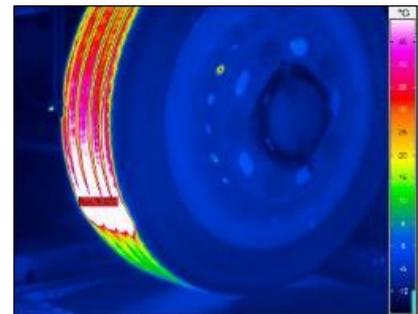
### High-Speed-Thermografie

#### Thermografie Kamera InfraTec Imager 8300

Detektorformat:	(640 x 512) Infrarot-Pixel
Temperaturauflösung:	20 mK
Spektralbereich:	MWIR, (2,0 ... 5,7) $\mu\text{m}$
Bildfrequenz:	Vollbild: 355 Hz
	Halbbild: 670 Hz
	Viertelbild: 1.200 Hz
Teilbild-Linien-Mode:	5.000 Hz
Messgenauigkeit:	+/- 1 K oder +/- 1 %
Kalibrierung:	10 bis 850 ° C



Quelle: InfraTec



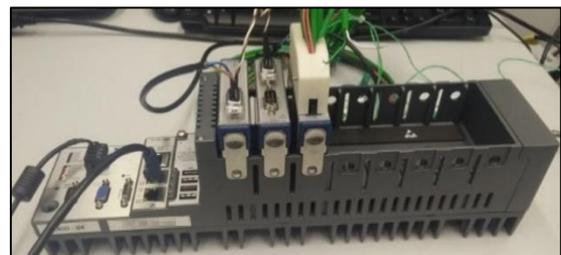
### Temperaturmesskarten

#### NI 9213 Hochgeschwindigkeitsmodul:

- 16 Messkanäle
- Maximale Sempelrate 75 S/s
- Unterstützt Standard Thermoelementtypen (J, K, S...)

#### NI 9214 Präzisionsmessmodul:

- 16 Messkanäle
- Messgenauigkeit von bis zu 0,45 ° C
- Unterstützt Standard Thermoelementtypen (J, K, S...)



Quelle: National Instruments



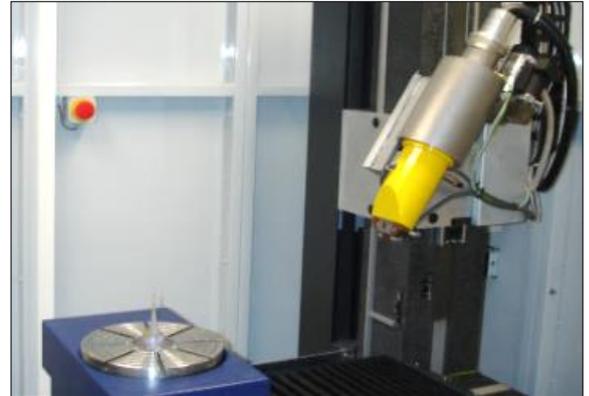
### Computertomograph für Bauteilanalyse im $\mu\text{m}$ -Bereich

#### Ray Scan 200

- 2D und 3D Material- und Gefügeanalysen
- Mikrostrukturanalyse
- Defektanalyse
- Messtechnische Aufgaben

#### Spezifikationen:

- Röntgenquelle: Mikrofokus 10-250 kV
- Brennfleck: 3-250 $\mu\text{m}$
- Objektmessungen  $\varnothing$ / H: 1-600 mm/1-1500 mm
- max. Objektgewicht: 80 kg
- Aktive Fläche Detektor: 410 x 410 mm<sup>2</sup>
- Detektorpixel: 1024 x 1024 (2048 x 2048 optional)
- Digitalisierung: 16 bit
- Messzeit incl. Rekonstruktion: 2 - 30 Min.
- Detailerkennbarkeit: 1 $\mu\text{m}$
- Kontrast: < 1 %
- Betriebsmodi: 3D-CT und Radioskopie



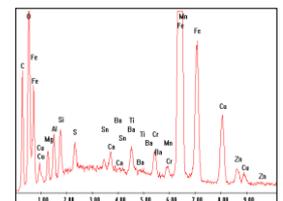
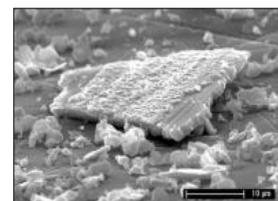
### Rasterelektronenmikroskop mit Elementanalyse

#### JEOL JSM-6610 + EDX

Analyse von physikalischen und chemischen Eigenschaften im Nanobereich

#### Spezifikationen:

- Auflösung von 3 nm bei 30 kV
- Große Probenkammer (350x340x230)mm mit vollmotorisierter Probentisch und einem zulässigen Probengewicht von 5kg
- Proben mit einem Durchmesser bis 208mm können in jedem Oberflächenpunkt angefahren werden.
- Niederdruckbetrieb mit BSD ermöglicht hohe Auflösung auch bei ausgasenden Proben
- Integrierte Elementanalyse von Bor bis Americium
- 30 mm<sup>2</sup> aktive Detektorfläche
- Gold / Carbon Sputtersystem





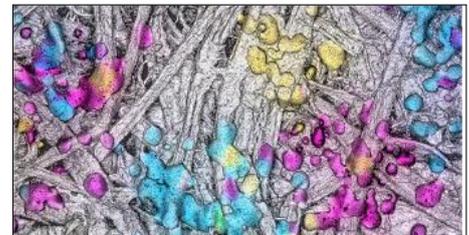
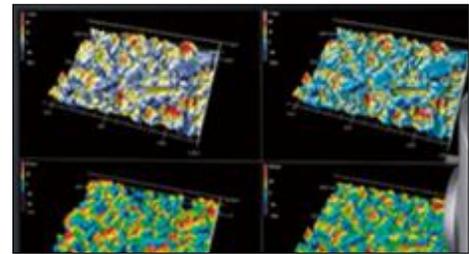
### Laser Scanning Mikroskop

#### Keyence VK-X 3D-Laserscanning Farbmikroskop

Oberflächenanalyse tribologisch beanspruchter Flächen, Rauheits- und Welligkeitsbestimmung, 3D-Analyse von Dichtungen oder Reibbelägen und Partikelgrößenbestimmung

##### Spezifikationen:

- roter Halbleiterlaser mit 658 nm Wellenlänge
- Mehr als 3 Millionen Messpunkte in jeder Ebene
- 16 Bit PMT, Farb-CCD-Bildsensor (3072 x 2304)
- 5 nm Höhengauflösung
- 8x optischer Zoom (Lasermodus)
- Scangeschwindigkeit bis zu 120Hz
- XY-Bildzusammensetzungsmodul mit Software und Verfahrtsch (motorisch 100x100mm)
- Umfangreiche Auswerte- und Analysesoftware
- große Anzahl verschiedener Objektive



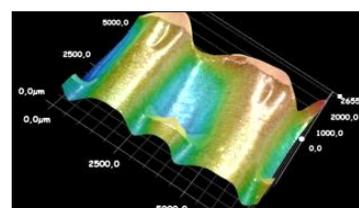
### High Speed- und Digital- Mikroskop

#### Keyence VW 9000

- Analyse hochdynamischer Vorgänge im Mikrometerbereich
- 3D Vermessung von Oberflächen

##### Spezifikationen:

- 4000 fps bei 640x480 Pixel
- max. 230000 fps
- Mikroskopaufnahme bis 1920x1440 Pixel
- Vergrößerung bis 200-fach
- Makro-Zoom-Objektiv für Fernbereich



Quelle: Keyence



### Messarm mit Taster und Laserscanner

#### FARO Fusion + Laser Line Probe

- 3D-Vermessung von Bauteilen, Interieur und Karosserie
- 3D-Modellierung und Reverse Engineering
- Positionieren und Kalibrieren im Raum
- Anthropometrie

**Bauform:** 2,4m / 7 Achsen

**Genauigkeit taktill:** 51µm

**Genauigkeit optisch:** 35µm



### 3D Midrange Laserscanner

#### FARO Focus 3D X 330

- Vermessung und Verifikation von Industrieanlagen und Installationen
- Prüfung großer Form- und Bauteile
- Architektur und Geländevermessung

**Reichweite:** 0.6m bis 330m

**systematischer Distanzfehler:** +/- 2mm

**Besonderheiten:** - Integrierter GPS-Empfänger  
- Scannen im direkten Sonnenlicht



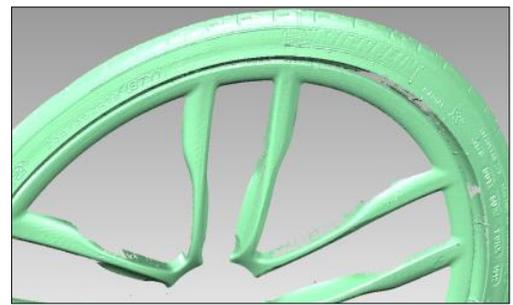
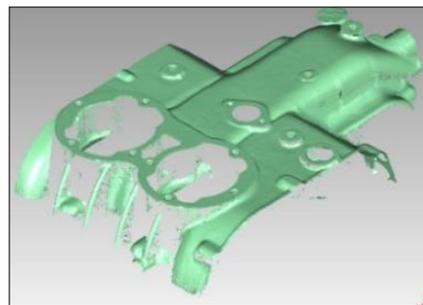
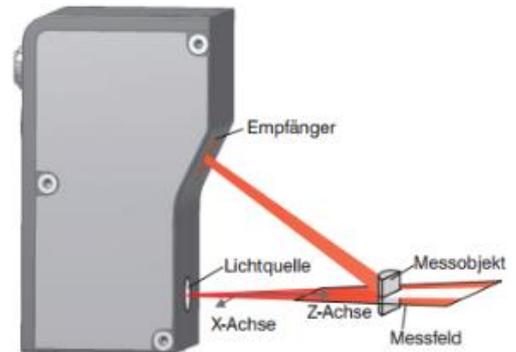
Quelle: FARO



### Laserlinienscanner zur Geometrieerfassung

#### Micro Epsilon ScanControl 2750 – 100

- Max. Profilabtastrate (abh. von Messoberfl.): 4000 Hz
- typische Profilabtastrate: 500Hz
- auch Bauteilschwingungen erfassbar
- Messabstand: ca. 500 mm
- Profilbreite: ca. 100mm





### Achsvermessungssystem

#### Beissbarth ML 8 R easy + Scherenhub- bühne Nussbaum UNI-Lift 3500 NT Plus

- umfangreiche Datenbank mit Sollwerten aller gängigen Fahrzeuge
- Vermessung einzelner Radstellungsgrößen
- Felgenschlagkompensation
- Radgrößen bis 24"
- 4 Messköpfe mit je 2 Infrarot-Kamerasystemen
- Tragfähigkeit: max. = 4000 kg (Radfreiheber 3500 kg)
- Radstand: max. = 4050 mm
- Breite: max. = 2120 mm



### Roboter Handhabungssysteme

#### Hochgenau positionierender Roboter

- Max. Traglast: 34 kg
- Eigengewicht Roboter: 248 Kg
- Bremsen: in allen Achsen
- Max. Geschwindigkeit im Lastschwerpunkt: 10,3 m/s
- Reichweite: 710 mm
- Freiheitsgrade: 6
- Wiederholgenauigkeit (typisch):  $\pm 0,01$  mm
- Wiederholgenauigkeit (ISO 9283):  $\pm 0,05$  mm
- Programmiersprache Robotersteuerung: VAL3
- Selbstentwickelte Labview-Schnittstelle



Quelle: Staubli



### Roboter-Betätigungssysteme

#### Pedalbetätigungseinrichtung

- Reproduzierbare Pedalbetätigungen mit hoher Dynamik und Präzision
- Statische und dynamische Vermessung der Pedaleigenschaften sowie der zugehörigen Fahrzeugreaktionen



- Prinzip:** servohydraulisch
- Grenzen:**  $F = 0 \dots 1500 \text{ N}$   
 $v = 0 \dots 1000 \text{ mm/s}$
- Modi:** Kraftregelung, Wegeregung, rampenförmige Betätigungen, oszillierende Betätigungen, Messungen im stehenden und fahrenden Fahrzeug
- Datenerfassung:** Pedalkraft, Pedalweg, Bremsdruck, BKV-Unterdruck, Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrzeugverzögerung



### Lenkungsroboter

#### Vehico CS-60B

- Durchführung querdynamischer Fahrmanöver unter reproduzierbaren Bedingungen
- Hochautomatisiertes Fahren

#### Spezifikationen:

- Max. 60 Nm Lenkmoment bei 1200°/s Winkelgeschwindigkeit
- Applizierbare Lenkraddurchmesser von 250 mm bis 440 mm
- Betriebsmodi: open-loop (reiner Aktuator), closed-loop (GPS)
- Erhalt der manuellen Lenkbarkeit und Airbag-Funktion



Quelle: VEHICO GmbH



### Druckmessmatte

#### Tekscan TVR8404

- Analyse der Druckverteilung von PKW-Reifen im Rad-Boden-Kontakt
- 36.608 piezoresistiven Sensoren auf einer Fläche von 268 mm x 317 mm zur Detektion der Flächenpressungsverteilung
- Aufnahmefrequenzen von bis zu 106 Hz ermöglichen die Messung dynamischer Vorgänge während eines Abrollvorgangs
- Umfangreiche Analysesoftware



### Hochdynamische Kraft- und Schwingungsmesstechnik

#### Kistler Schwingungsmesstechnik

- Bestimmung der dynamischen Kraftänderungen an den Anbindungsunkten eines Fahrzeugfahrwerkes
- Aufzeichnung von oszillierenden Kräften und Momenten mit bis zu 16 Sensoren



#### Spezifikationen:

- Messbereich:  $\pm 100 \dots 1\,000\,000$  pC
- Frequenzbandbreite: 0 – 45 kHz
- Drift: max. 0,2 pC/s
- Messunsicherheit: <1%
- Ausgabe der Messsignale: 0-10V
- Speicherung der Messsignale durch direktes Auslesen der Messverstärker (via Ethernet)





### Radkraftsensor

#### Kistler RoadDyn S635

- Hochdynamische Erfassung von Radkräften und -Momenten
- 6-Komponenten-Radkraftsensor erlaubt die Messung mehrachsiger Belastungen
- Vollständige Montage des Messrades als Rad am Fahrzeug (als Ersatz des Serienrades)
- Montage am Reifenmesshänger zur Analyse des Kraftschlussverhaltens Reifen / Fahrbahn
- Montage am Corner-Modul-Prüfstand zur Analyse des Kraftschlussverhaltens unter Laborbedingen



#### Messbereich:

Fx	-35 ... 35 kN
Fy	-20 ... 20 kN
Fz	-35 ... 35 kN
Mx/y/z	-5 ... 5 kNm

### Optischer Kondensationspartikelzähler und Probeentnahmesonde

#### HORIBA MEXA – 2100 SPCS und SMPS

- Solid Particle Counting System (CPC) + Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)
- Vergrößerung der Oberfläche der Partikel durch heterogene Kondensation (die Partikel werden durch einen übersättigten Alkoholdampf/n-Butanol geleitet) - Optische Detektion möglich
- Die Zählung erfolgt mittels optischen Streulichtdetektor

#### Spezifikationen:

- Partikelzählung im Bereich 10 - 2500nm (CPC - modifiziert)
- Verdünnungsfaktoren: 150:1 – 3.000:1 (zwei Verdünnungsstufen)
- Größenverteilungsmessung mittels SMPS (2,5 - 150nm sowie 10 - 1000nm über 167 Kanäle)



Quelle: HORIBA



### Mobile Abgasmesssysteme

#### AVL M.O.V.E

- **GAS PEMS iS:** Die AVL GAS PEMS iS ist ein kompaktes portables Abgasmessgerät für die Bestimmung der NO/NO<sub>2</sub>, CO/CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> Konzentrationen im Abgas von Diesel- und Benzinmotoren
- **PN PEMS iS:** Die PN PEMS iS wurde entwickelt um kontinuierlich Partikelanzahlemissionen [ $\#/cm^3$ ] von Festkörperpartikel unter realen Fahrbedingungen (RDE) messen zu können



#### Spezifikationen:

- Sensorprinzip: Advanced Diffusion Charger
- Probenaufbereitung: Catalytic Stripper
- Max. Abtastrate: 10Hz
- Verdünnungsrate 10:1



Quelle: AVL

### Differentieller Mobilitätsanalysator (DMA)

#### CAMBUSTION DMS500

#### Funktionsweise:

- Partikelaufladung durch unipolare Koronaentladung proportional zu der Partikeloberfläche
- In einer Klassiereinheit werden die elektrisch geladenen Partikel einem statischen elektrischen Feld ausgesetzt und in Richtung von 22 Ringelektronen abgelenkt
- Die Flugbahn (Aufprallort auf einer Ringelektrode) ist abhängig von der elektrischen Mobilität der Partikel und ein Maß für deren aerodynamischen Durchmesser

#### Spezifikationen:

- Messbereich: 5 – 1.000nm (optional: 5 – 2.500nm)
- Max. Abtastrate: 10Hz
- 38 Größenfraktionen



Quelle: CAMBUSTION



### Elektrischer Niederdruckkaskadenimpaktor (ELPI)

#### DEKATI ELPI+

Der ELPI+ ermöglicht die Echtzeitmessung von Partikelgrößenverteilung und Partikelanzahlkonzentration innerhalb eines Größenbereichs von 6 – 10.000nm. Zusätzlich eignet sich das Messsystem zur Messung der Partikelladungsverteilung und für gravimetrische Impaktormessungen.

#### Funktionsweise:

- Partikelaufladung durch unipolare Koronaentladung
- Größenselektive Fraktionierung der Partikel in einem Kaskadenimpaktor mit 14 elektrisch von einander isolierten Trennstufen (davon 5 Trennstufen im Bereich PM<sub>0,1</sub>)
- Sammlung der Partikel mit der Möglichkeit einer nachfolgenden gravimetrischen, chemisch-analytischen oder elektronenmikroskopischen (z.B. REM) Untersuchung
- Elektrische Bestimmung mit nachweisstarken Elektrometern

#### Spezifikationen ELPI+:

- Messbereich: 6 – 10.000nm
- Max. Abtastrate: 10Hz
- 14 Größenfraktionen / Impaktorstufen



Quelle: DEKATI

#### DEKATI Thermodenuder

Anwendung des Thermodenuders zur Entfernung flüchtiger und halbflüchtige Stoffe in Aerosolströmen. Dadurch können unerwünschte Transformationseffekte in der Probe eliminiert werden.

#### Spezifikationen ELPI+:

- 10 – 20 l/min Durchflussrate
- Aufheizung bis zu 300 °C möglich



Quelle: DEKATI



### Partikel- Messstation

#### EN 16450-zertifiziertes Feinstaub-Aerosolspektrometerr

- Eignungsgeprüft und zertifiziert nach aktuellsten EU-Anforderungen
- Einsetzbar für die Umweltüberwachung, Immissions-messkampagnen und auch Langzeitstudien
- Kontinuierliche und simultane Echtzeit-Messung mehrerer PM-Werte (PM1, PM2.5, PM4, PM10)
- Erfassung von Partikelanzahlkonzentration und Größenverteilung

#### Spezifikationen:

- Messbereich (Größe): 0,18 – 100  $\mu\text{m}$
- Messprinzip: Optische Lichtstreuung
- Messbereich: 0 – 20.000  $\#/ \text{cm}^3$  (Anzahl) und 0 – 10.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Masse)
- Zeitliche Auflösung: 1 s bis 24 h



Quelle: Palas



### Kondensations- Partikelzähler

#### TSI 3756

Ultrafeiner Kondensationspartikelzähler (CPC) zur Erfassung einer Partikelanzahlkonzentration hochdynamischer Prozesse

- Referenzmessgerät ohne Vorabscheidung, Vorverdünnung oder thermische Vorkonditionierung
- Erfassung von Einzelpartikeln in einem weiten Konzentrationsbereich

#### Spezifikationen:

- Messbereich (Größe): 2,5 nm (D50) - > 3  $\mu\text{m}$
- Messprinzip: Optische Streulichtmessung
- Messbereich (Anzahl): 0 – 300.000  $\#/\text{cm}^3$
- Reaktionszeit: T10-90 bis zu < 2 s
- Abtastrate: bis zu 50 Hz



Quelle: TSI

#### Palas PMP-CPC 100

Dieser Kondensationspartikelzähler (CPC) eignet sich für PMP-Anwendungen der EU-Norm ILCE.

- PMP-konformes Messsystem zur Partikelanzahlmessung
- Erfassung von Einzelpartikeln in einem weiten Konzentrationsbereich

#### Spezifikationen:

- Messbereich (Größe): 23 nm (D50) - 10  $\mu\text{m}$
- Messprinzip: Optische Streulichtmessung
- Messbereich (Anzahl): 0 –  $1\text{E}+05$   $\#/\text{cm}^3$  im Einzelzählmodus und bis  $1\text{E}07$   $\#/\text{cm}^3$  im Nephelometermodus
- Reaktionszeit: T10-90 bis zu 2 s
- Abtastrate: 1 Hz



Quelle: Palas



### Dekati eFilter

Der Dekati® eFilter™ verbindet einen gravimetrischen Sammelhalter mit der Echtzeitpartikelmesstechnik und verfügt über ein kontinuierliches Messsignal

- Einsetzbar für die Umweltüberwachung und Abgasmessungen in der Automobilindustrie
- Kombination aus gravimetrischer Partikelmessung (U.S. EPA) und automatisierter Echtzeitmessung

#### Spezifikationen:

- Max. Partikeldurchmesser (Echtzeit): 3  $\mu\text{m}$
- Sensitivität: ca. 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oder 1000  $\#/ \text{cm}^3$  für 70 nm-Partikel
- Messprinzip: Oberflächenladung (diffusion charger)
- Abtastrate: bis 1 Hz



Quelle: Dekati

### 3-stufiger Kaskadenimpaktor mit ITES

3-stufiger Kaskadenimpaktor gemäß ISO 23210 zur Erfassung der Straubfracht in strömenden Gasen in den Fraktionen > PM10, PM10 und PM2,5. Zusätzlich dient der ITES als Steuer- und Regeleinheit für die isokinetische Teilstromentnahme

- Emissionsmessung/Probenahme nach EN-, ISO- und VDI-Standards (ISO 23210 und VDI 2066)
- Automatisiertes Messsystem - einsetzbar für die Umweltüberwachung und Abgasmessungen

#### Spezifikationen:

- Max. Massenkonzentrationen: 200  $\text{mg}/\text{m}^3$
- Max. Temperaturbereich: 400  $^{\circ}\text{C}$
- Blendenmessstrecke: 0,5 – 4  $\text{m}^3/\text{h}$



Quelle: Paul Gothe



### Partikelgenerator

Erzeugen von Test- und Prüfaerosolen aus Pulvern, Pollen und Sporen

- Höchste Kurzzeit- und Langzeitdosierkonstanz und Möglichkeit zum Impulsbetrieb
- Dispergierung von nahezu allen nicht kohäsiven Stäube

#### Spezifikationen:

- Volumenstrom: 0,5 – 5,0 m<sup>3</sup>/h
- maximale Partikelanzahlkonzentration: ca. 1E+07 #/cm<sup>3</sup>
- Massenstrom (Partikel): 0,04 – 430 g/h (bei angenommener Stopfdichte von 1 g/cm<sup>3</sup>)
- Partikelgrößenbereich: 0,1 – 100 µm
- Träger/Dispergiertgas: beliebig (in der Regel Luft)



Quelle: Palas



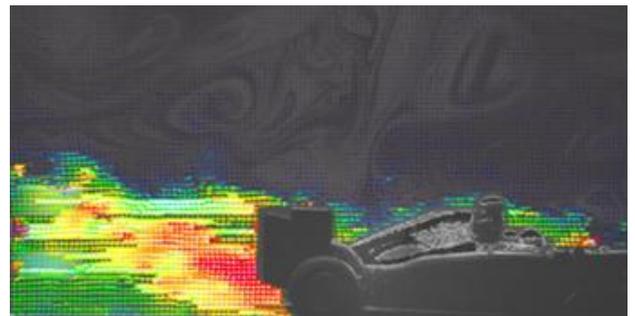
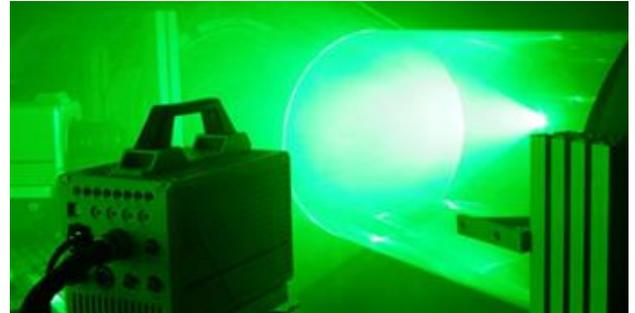
### Strömungsmesstechnik

#### Messsystem zur hochdynamischen Visualisierung von partikelbeladenen Strömungen

- Hochdynamische Visualisierungen von Geschwindigkeits- und Beschleunigungsfeldern bei einer Abtastfrequenz von bis zu 10.000 Hz
- Automatisierte Traversierung von Beleuchtungs- und Bilderfassungseinrichtung

#### Spezifikationen:

- Auflösung Kamerasensor: 2048x2048 Pixel
- Pixelgröße: max. 10x10  $\mu\text{m}$
- Bildfrequenz: bis zu 20.000 Hz
- Aufnahmedauer bei 100 fps: 13,3 s (Fullframe)
- Aufnahmedauer bei 100.000 fps: 6,86 s (red. Auflösung)



Quelle: ILA5150

#### 14-Loch Omiprobe

- Messung von Strömungswinkeln bis zu 160°
- Für Messaufgaben, bei denen der Anströmwinkel unbekannt ist oder sogar eine Rückströmung vorliegt

#### Spezifikationen:

- Anzahl der Druckbohrungen: 14
- Temperaturbereich: 600° C
- Winkelmessbereich:  $\pm 160^\circ$
- Geschwindigkeitsmessbereich: 3 m/s bis Mach 0,95
- Messgenauigkeit Geschwindigkeit <  $\pm 1$  m/s



Quelle: Vectroflow



### Mettler-Toledo Balance XSR225DU (Analysewaage für kleine Lasten)

- Höchstlast 220 g/121 g
- Ablesbarkeit: 0,1 mg; 0,01 mg
- Wiederholbarkeit(Prüfgewicht): 0,02 mg (10 g)
- Mindesteinwaage (USP, 0,1%, typisch): 20 mg
- DAkKS Zertifikat
- Verwendung: Auswiegen von un- und beladenen Filtern



Quelle: Mettler Toledo

### Sartorius Cubis manueller Massenkomparator MCM40K3

- Höchstlast: 41 kg
- Ablesbarkeit: 0,1 mg
- Wiederholbarkeit(Prüfgewicht): 2 mg
- DAkKS Zertifikat
- Verwendung: präzise Masseverlust Bestimmung von Bremsscheiben und Reifen



Quelle: Sartorius

# Fahrzeugtechnik

## 3. Forschungsfahrzeuge



### Opel Ampera

- Fahrzeug mit Range Extender
- Untersuchung von Antriebskonzepten

Max. Leistung: 111 kW/150 PS  
Max. Drehmoment: 370 Nm  
Vmax.: 161 km/h  
0-100 km/h: < 10 s  
Leergewicht: 1732 kg  
E-Antrieb: 54 kW Generator  
16 kWh Batterie  
40-80 km Reichweite



**Range Extender:** 4 Zylinder Ottomotor, 1398 cm<sup>3</sup>  
63 kW/86 PS bei 4800 rpm  
>400 km Reichweite

### Mitsubishi i-MiEV

- Fahrzeug mit Elektroantrieb
- Untersuchung von Antriebskonzepten
- Untersuchung HMI

Leistung: 49 kW/67 PS      Kapazität: 16 kWh  
0-100 km/h: 15,9 s      Reichweite: 150 km  
Vmax.: 130 km/h      Leergewicht: 1110 kg



### Land Rover Range Rover Evoque

- Fahrzeug mit dynamischer Reifendruckregelung, Semi-aktivem Fahrwerk und entkoppeltem Bremssystem mit kontinuierlicher Rad-Schlupf Kontrolle
- Untersuchung der Fahrdynamik

Leistung: 110 kW/150 PS  
Drehmoment: 380nm  
Vmax.: 182 km/h  
Leergewicht: 2275 kg  
Reifengröße: 235/55 R19  
Cw-Wert: 0,35



# Fahrzeugtechnik

## 3. Forschungsfahrzeuge



### Audi A5 Sportback

- Mensch-Maschine-Interaktion (z.B. Pedalgefühlcharakteristiken)
- Brake-by-Wire

#### Baureihe B8:

- Ottomotor, Hubraum: 1984 cm<sup>3</sup>
- Nennleistung: 155 kW / 210 PS
- Maximales Drehmoment: 350 Nm
- Beschleunigung, 0-100 km/h: 6,4-7,9 s
- Leergewicht: 1590 kg
- Höchstgeschwindigkeit: 241 km/h



### Audi e-tron 55 quattro S-Line

#### Forschungsbereiche

- Demonstrator für innovative Antriebstechnologien
- Entwicklung und Validierung integrierter Regelsysteme für batterieelektrische Sport Utility Vehicles (SUVs)
- Automatisiertes Fahren



### Reifenmessanhänger

- Entwicklung durch das FG Kraftfahrzeugtechnik
- Analyse des Kraftschlussverhaltens von Reifen auf trockener und nasser Fahrbahn
- Elektro-servohydraulisches Bremssystem zur Realisierung von Bremschlupf
- Messwernerfassung und Ansteuerung des Bremssystems mithilfe von LabVIEW Realtime (Echtzeitsystem CompactRIO)
- Hochdynamische Kräfte- und Momentenaufzeichnung
- Definierte Einstellmöglichkeit von Radstellungsgrößen
- Große Variation von Radlasten
- Hochdynamisches Reifenfülldrucksystem

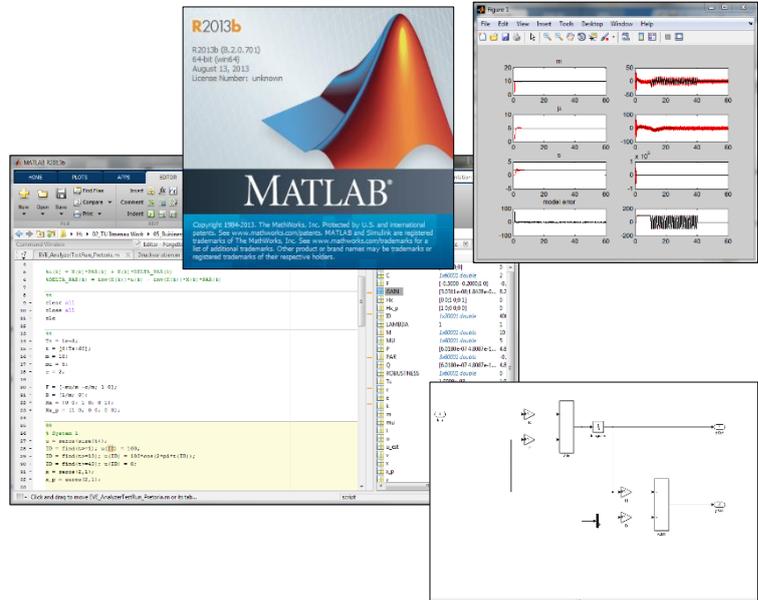




### MATLAB/Simulink

Computeralgebraische Software zur Lösung von Differentialgleichung

- Datenerfassung, Datenanalyse und Datenauswertung
- Rapid Control Prototyping und Optimierung
- Prototypische Softwareentwicklung
- Statistik, Signal- und Bildverarbeitung
- (Co-)Simulation



### InMotion

Mobile echtzeitfähige Simulationsplattform mit multivalenten Schnittstellen

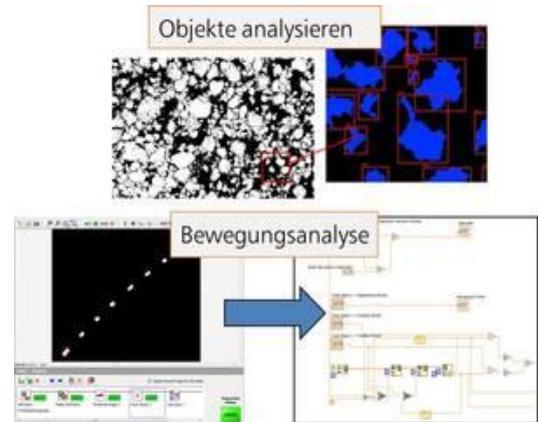
- Programmier-Schnittstellen zu MATLAB/Simulink, C-Code
- Kommunikations-Schnittstellen: UDP/IP, TCP/IP, CAN, FlexRay, USB
- Anwendung: Gesamtfahrzeugsimulation (IPG CarMaker) zur Abbildung komplexer Prüfscenarien durch echtzeitfähige Vernetzung





### IMAQ

- PC-gestützte Bilderfassung und -Verarbeitung
- Online- und Offline-Bildanalyse
- Automatisierten Bildanalyse anhand von Sequenzen
- Automatische Prüfung von Maß- und Lageabweichungen
- Schnittstelle zu LabVIEW



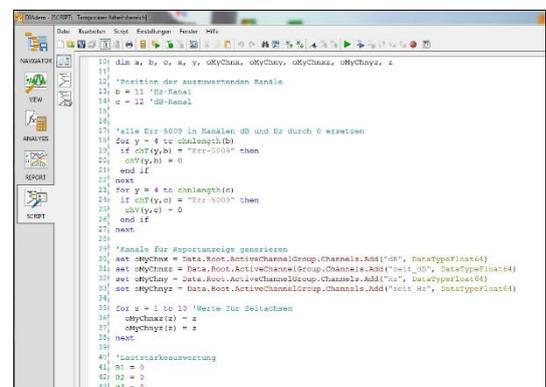
### IPG CarMaker

- Durchführung virtueller Fahrversuche im Vorentwicklungsstand
- Möglichkeit einer Implementierung von Fahrer- und Fahrzeugmodellen (oder auch einzelner Subsysteme) und der zugehörigen Regelungen
- Anwendung: Durchführung von Simulationen zur Voruntersuchung neuer Konzepte und neu entwickelter Regelungssysteme



### Diadem

- Erstellung von Applikationen zur Erfassung von Messdaten
- Automatisierte Datenauswertung mit DIAdem-Script
- Anwendung: Datenerfassung, Datenauswertung



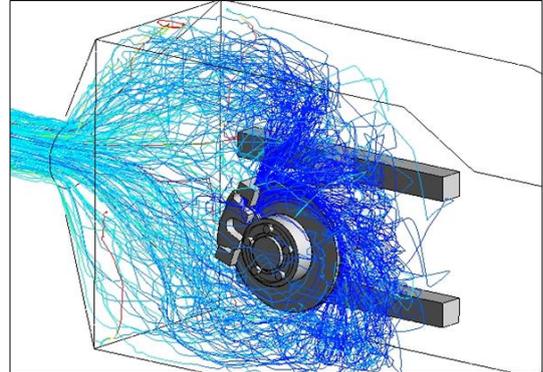
# Fahrzeugtechnik

## 4. Software und Lizenzen



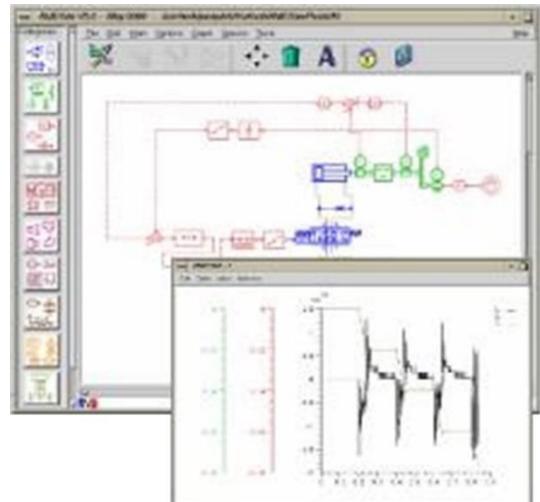
### ANSYS

- FEM-Software zur Lösung linearer und nicht-linearer Problemstellungen in den Domänen Strukturmechanik, Strukturdynamik, Fluidmechanik, Thermodynamik, Piezoelektrizität, Elektromagnetismus und kombinierter Ansätze
- Anwendung: NVH-Analysen, Analyse von Aerosolströmungen (Feinstaubemissionen), Reibungssimulation im Automobil-Schwingungsdämpfer



### AME Sim

- Simulation von Hydraulik- und Pneumatiksystemen, Signalverarbeitung, Kopplung Fluid- und Wärmetransport
- Anwendung: Instationäre Systemsimulation elektrohydraulischer Bremssysteme



### LabView

- Software für die Systementwicklung zum Einsatz in Mess-, Prüf-, Steuer- und Regelungsanwendungen
- Schneller Hardwarezugriff mit schnellem Einblick in die erfassten Daten
- Erstellung von echtzeitfähigen Applikationen zur Erfassung von Messdaten und Steuerung von Prozessen
- Erstellung von ausführbaren Programmen im Kundenauftrag (Stand alone Applikationen)
- Anwendung: Datenerfassung und Steuerung automatisierter Systeme

