

AUTOREN



**DIPL.-ING.**

**THOMAS HÜSEMANN**

ist Leiter des Geschäftsbereichs Fahrwerk bei der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka).



**DIPL.-ING.**

**CHRISTIAN BACHMANN**

ist Teamleiter Reifentechnologie im Geschäftsbereich Fahrwerk bei der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka).



**DIPL.-ING. (FH)**

**SUSANNE WINTER**

ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Geschäftsbereich Fahrwerk bei der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka).



**DIPL.-ING.**

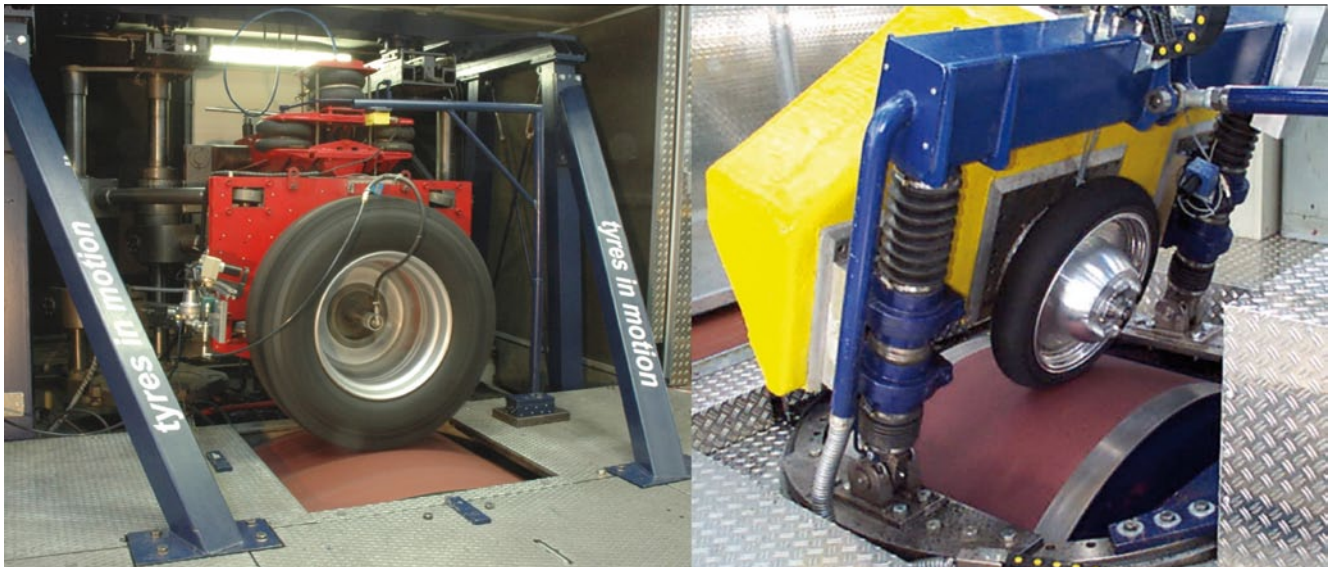
**DIRK HENRICHMÜLLER**

ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Fahrwerk des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University.

# MOBILE PRÜFSTANDSTECHNIK ZUR MESSUNG VON REIFEN-FAHRBAHN-REIBWERTEN

Der Geschäftsbereich Fahrwerk der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka) und das Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University haben gemeinsam zwei mobile Prüfstände entwickelt, welche die Erfassung von Reifencharakteristiken auf realen Fahrbahnoberflächen erlauben. Sie ergänzen die bereits seit längerem verfügbaren Außentrommelprüfstände zur Messung von Reifeneigenschaften unter Laborbedingungen.





❶ Labor-Reifenprüfstände bei ika und fka: Nutzfahrzeug-Reifenprüfstand NuReP (links) sowie Motorrad- und Pkw-Reifenprüfstand MoReP (rechts)

## 1 EINLEITUNG

### 2 AUSSENTROMMEL-REIFENPRÜFSTÄNDE IM LABOR

### 3 MOBILE REIFENPRÜFSTÄNDE ZUR MESSUNG VON REIFEN-FAHRBAHN-REIBWERTEN

### 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

## 1 EINLEITUNG

Die Kraftübertragung zwischen Fahrzeug und Fahrbahn findet einzig über die vier Aufstandsflächen der Reifen statt. Somit wird die gesamte Fahrdynamik eines Fahrzeugs maßgeblich durch die Eigenschaften seiner Reifen bestimmt. Aufgrund dieser hohen Bedeutung des Reifens beschäftigt sich im Geschäftsbereich Fahrwerk bei der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka) und dem Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University ein eigenes Team mit diesem Thema. Das Arbeitsgebiet dieser Gruppe umfasst die Messung von Reifeneigenschaften sowie ihre simulationstechnische Abbildung durch geeignete Reifenmodelle. Weitere Schwerpunkte sind die Konzeption, Entwicklung sowie der vollständige Aufbau von Reifenprüfständen. Neben den beiden bereits seit längerem verfügbaren Außentrommelprüfständen zur Messung von Reifeneigenschaften unter Laborbedingungen werden seit kurzem zwei selbstentwickelte mobile Prüfstände eingesetzt, welche die Erfassung von Reifencharakteristiken auf realen Fahrbahnoberflächen erlauben.

## 2 AUSSENTROMMEL-REIFENPRÜFSTÄNDE IM LABOR

Zur messtechnischen Erfassung der statischen, quasistationären und dynamischen Kraftübertragungseigenschaften aller gängigen Reifen für Motorräder, Pkw, Leicht-Lkw und schwere Nfz mit einem maximalen Raddurchmesser von 1300 mm sowie bis in einem Radlastbereich von 40 kN sind bei ika und fka zwei Außentrommelprüfstände

im Einsatz. Es handelt sich um den Nutzfahrzeug-Reifenprüfstand NuReP [1] mit einem Trommeldurchmesser von 2,54 m sowie um den Motorrad- und Pkw-Reifenprüfstand MoReP [2, 3] mit einer 1,59-m-Trommel, ❶. Die Oberflächen der beiden Außentrommelfahrbahnen sind mit dem Schleifmittel Korund P80 beschichtet. Diese beiden Prüfstände sind bei ika und fka entwickelt und aufgebaut worden. Sie werden seitdem stetig weiterentwickelt und kontinuierlich auf dem aktuellen Stand der Mess- und Prüftechnik gehalten.

Die auf den beiden Prüfständen durchgeführten Reifenmessungen werden in einem standardisierten Prozess aufbereitet und in das Messdatenformat Tydex [4] umgewandelt, damit sie den Softwarewerkzeugen zur Parameteridentifikation aller gängigen Reifensimulationsmodelle wie FTire [5, 6] oder Magic Formula [7] zugeführt werden können.

## 3 MOBILE REIFENPRÜFSTÄNDE ZUR MESSUNG VON REIFEN-FAHRBAHN-REIBWERTEN

Für bestimmte Anwendungsfälle ist es bei der Messung von Reifeneigenschaften erforderlich, das Kraftschlussverhalten der Reifen auch auf verschiedenen realen Straßenoberflächen sowie bei unterschiedlichen Fahrbahnzuständen zu erfassen. Insbesondere durch Zwischenmedien wie Wasser, Schnee, Eis oder Verschmutzungen wird das maximale Kraftschlusspotenzial eines Reifens deutlich reduziert. Aber selbst als „trocken“ eingestufte Straßenoberflächen können sehr unterschiedliche maximale Kraftschlusspotenziale aufweisen [8, 9, 10]

### 3.1 FAHRENDER REIFENPRÜFSTAND

Um die Kraftübertragungseigenschaften von Reifen für Motorräder, Pkw, Leicht-Lkw und schwere Nfz auch auf Fahrbahnoberflächen öffentlicher Straßen und Prüfgeländen messen zu können, ist bei ika und fka der fahrende Reifenprüfstand FaReP entwickelt und aufgebaut worden [11, 12]. Das Konzept dieses mobilen Prüfstands erlaubt die Ermittlung der Reifencharakteristiken sowohl auf realen Fahrbahnen als auch unter Laborbedingungen auf der 2,547-m-Außentrom-

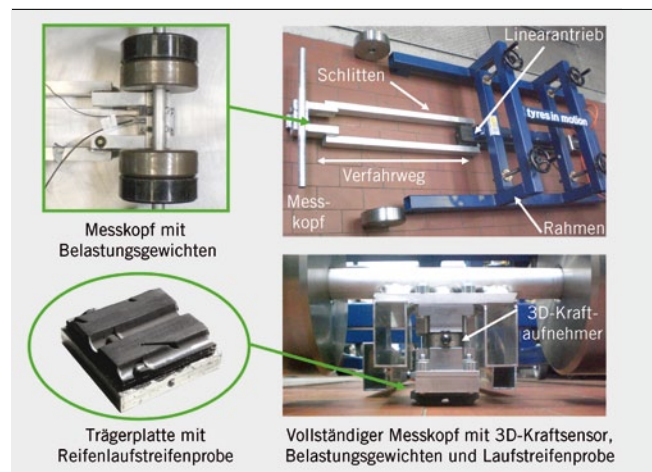


2 Mobiler Reifenprüfstand FaReP auf der Außentrommel im ika-Labor sowie im Messeinsatz auf der Teststrecke des Aldenhoven Testing Centers (ATC) in der Nähe von Aachen

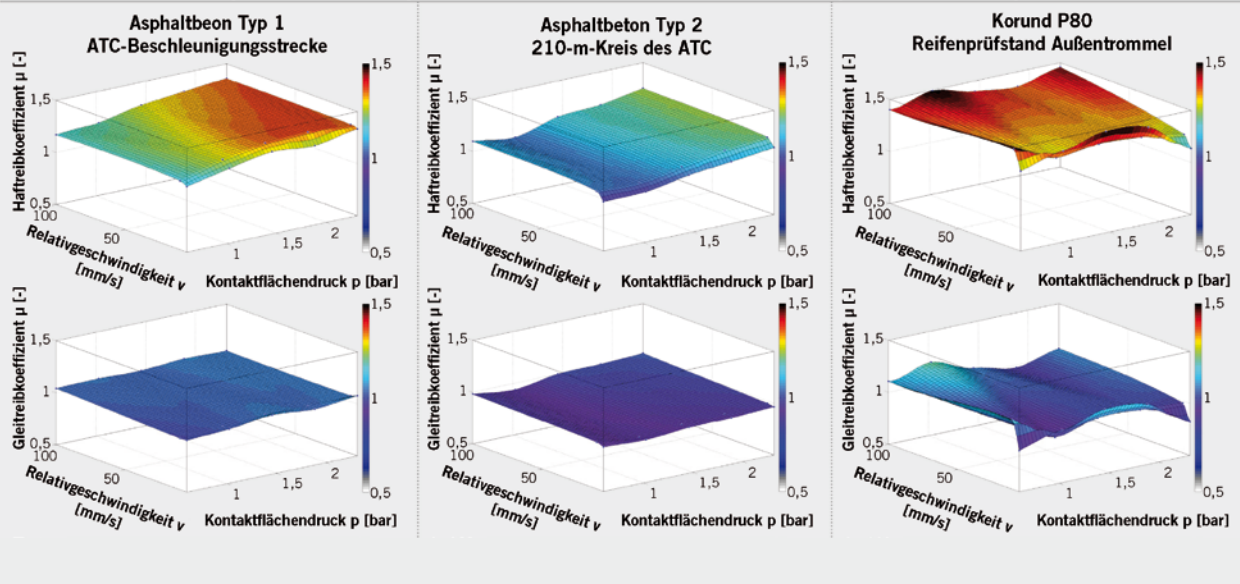
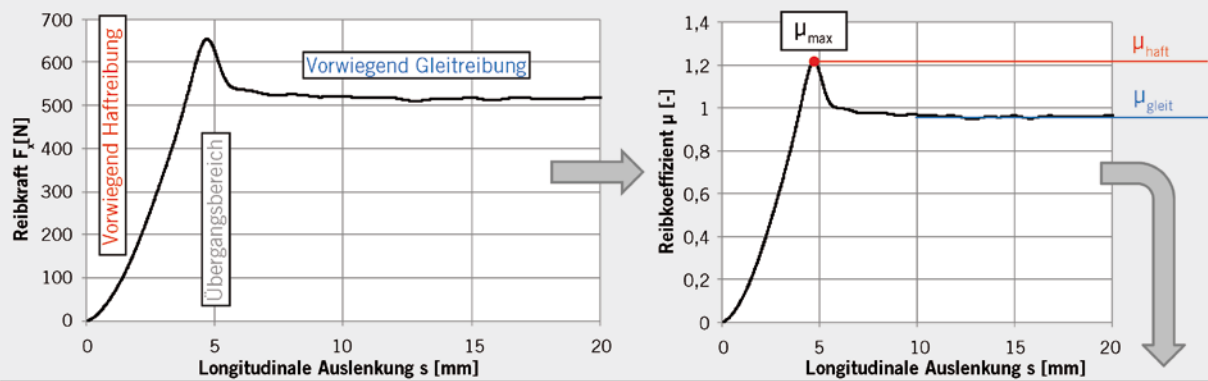
mel des Nutzfahrzeug-Reifenprüfstands mit identischer Messausrüstung, 2. So kann bei der Bewertung des Reifenverhaltens unter Außen- und Laborbedingungen ein möglicher Einfluss der Messtechnik ausgeschlossen werden. Es können prinzipiell alle Fahrzeugreifen mit Außendurchmessern von 560 mm bis 1240 mm untersucht werden.

Beim mobilen Reifenprüfstand handelt es sich um einen Auflieger, welcher von einer Sattelzugmaschine bewegt wird. Es sind Fahrgeschwindigkeiten von maximal 100 km/h möglich. Der Auflieger selber verfügt über zwei mitlenkende beziehungsweise aktiv lenkbare Hinterachsen, um etwaige Schwimmwinkel des Anhängers während des Messbetriebs kompensieren zu können. Der eigentliche Reifenprüfstand ist in der Mitte des Aufliegers zwischen den Hinterachsen und der Antriebsachse des Zugfahrzeugs in der Nähe des Gesamtschwerpunkts des Zugs positioniert. Durch diese Anordnung haben die vom Messreifen erzeugten Kräfte den insgesamt geringsten Einfluss auf das Fahrverhalten des 22 t wiegenden Gesamtfahrzeugs. Die Bewegungseinheit des Reifenprüfstands stellt den zu untersuchenden Reifen während des Messbetriebs mit der erforderlichen Radlast und den gewünschten Schräglauf-, Sturz- und Bremsschlupfvorgaben auf die Fahrbahn. Die Sollwertvorgaben für die zu messenden Reifenbetriebszustände sind frei konfigurierbar und werden computergesteuert an die Aktuatorik des Prüfstands übermittelt: Die Reifensturz- (bis  $\gamma = \pm 10^\circ$ ) und Schräglaufwinkelverläufe (bis  $\alpha = \pm 15^\circ$ ) werden hydraulisch aktuiert. Der Längsschlupf wird über eine hydraulisch angesteuerte Scheibenbremse mit einem maximalen Bremsmoment von zirka 24 kNm eingestellt. Die Radlast von bis zu 50 kN für den Messreifen wird über eine Luftfederung, kombiniert mit einem Hydraulikzylinder, eingeregelt. Diese aktive Regelung erlaubt die Kompensation niederfrequenter Radlastschwankungen, welche durch Fahrbahnregungen und Aufbaubewegungen induziert werden können. Die erforderliche hydraulische Leistung von 17 kW und die elektrische Leistung von 2,5 kW zur Energieversorgung des Reifenprüfstands und seiner Messtechnik werden durch ein sogenanntes Powerpack zur Verfügung gestellt. Dieses besteht aus einem Dieselmotor, welcher eine Hydraulikpumpe und einen elektrischen Generator antreibt und

darüber hinaus noch das Druckluftnetz mit 10 bar Systemdruck über eine entsprechende Pumpe speist. Die Erfassung der Reifencräfte und -momente erfolgt über eine von der Firma Kistler in Zusammenarbeit mit ika und fka entwickelten Fünfkomponentenmessnabe. Der Messbereich erstreckt sich bis 50 kN für die Raslast sowie bis je  $\pm 50$  kN für Längs- und Seitenkräfte. Hauptaufgabengebiete für den fahrenden Reifenprüfstand sind sowohl die Charakterisierung des Kraftschlussverhaltens verschiedener Reifentypen auf realen Fahrbahnoberflächen als auch eine Ermittlung und Bewertung dieser Eigenschaften im Bezug auf die heute im Straßenbau verwendeten Fahrbahndecken bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen. Ferner erlaubt der FaReP die für das Reifenlabelling erforderlichen Kraftschlussmessungen auf nasser Fahrbahn. Mit geeigneter Zusatzmesstechnik sind ebenso vergleichende Akustikmessungen auf entsprechenden Fahrbahnen denkbar. Auch alle gängigen Reifensimulationsmodelle profitieren von den Messdaten des fahrenden Reifenprüfstands.



3 Konzept des Linearzug-Reibwertprüfstands LiReP



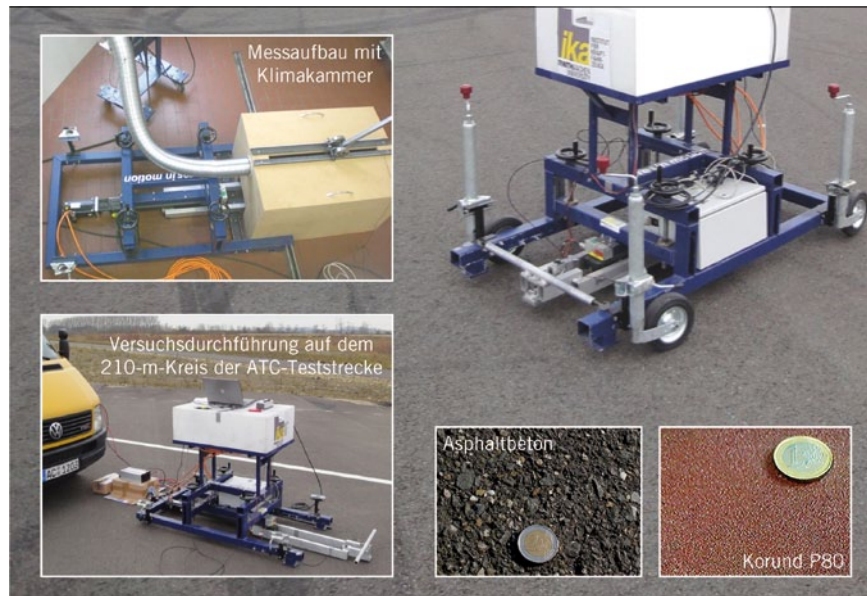
4 Mit dem Linearzug-Reibwertprüfstand ermittelte Reibwertkennfelder der künstlichen Fahrbahnoberfläche Korund P80 (rechts) sowie verschiedener „realer“ Asphaltbeton-Fahrbahnen des ATC (links und Mitte); Vorgehen zur Reibwertkennfeldermittlung (oben)

### 3.2 LINEARZUG-REIBWERTPRÜFSTAND

Mit dem Linearzug-Reibwertprüfstand LiReP [12], 3, ist bei ika und fka ein weiteres Prüfgerät im Einsatz, um die Kraftschlusspotenziale verschiedener Reifen-Fahrbahn-Kombinationen zu untersuchen. Es ermöglicht die Messung vollständiger Reibwertkennfelder von einzelnen Laufstreifenprofilstollenproben separat vom gesamten Reifen auf verschiedensten Fahrbahnoberflächen. Ein typisches Reibwertkennfeld stellt dabei die lokalen Haft- und Gleitreibwerte der Kombination Laufstreifengummi und Fahrbahnoberfläche in Abhängigkeit der Betriebsparameter „lokaler Anpressdruck“ sowie „Gleit- beziehungsweise Verfahrgeschwindigkeit“ dar. In Einzelfällen kommt als weitere Betriebsgröße die Fahrbahn- beziehungsweise Gummitemperatur hinzu. 4 zeigt typische Reibwertkennfelder, die mit dem LiReP auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen ermittelt worden sind.

Kernstück des Linearzug-Reibwertprüfstands ist sein Linearaktuator, der als elektromechanischer Kugelumlaufspindel-Gewindetrieb ausgeführt ist. Er zieht einen gewichtsbelasteten Messschlitten mit definierter Geschwindigkeit über die Fahrbahnoberfläche. Eine dem Laufstreifen des zu untersuchenden Reifens entnommene Gummiprobe der Größe 60 mm x 60 mm wird auf einer Trägerplatte appliziert und in den Messschlitten eingespannt. Mithilfe von Belastungs-

gewichten zwischen 3 kg und 60 kg können je nach Größe der Aufstandsfläche des Probenkörpers Anpressdrücke zwischen 0,3 bar und 3,5 bar erzeugt werden. Während der Versuchsdurchführung wird der eingespannte und vertikal belastete Laufstreifenprobenkörper mit konstanter Verfahrgeschwindigkeit aus dem Stillstand heraus über die betreffende Fahrbahnoberfläche gezogen. Es können dabei Verfah- beziehungsweise Gleitgeschwindigkeiten im Bereich von zirka 0,001 m/s bis 1,2 m/s erreicht werden. Sämtliche auf den Probenkörper während des Versuchs einwirkenden Kräfte werden von einem ebenfalls im Messschlitten installierten 3D-Kraftsensor aufgenommen. Dieser Sensor erfasst kontinuierlich die auf den Laufstreifengummi einwirkende Vertikallast, die Zugkraft (beziehungsweise Reibkraft) und die Querkraft. Zusätzliche Weg- und Geschwindigkeitssensoren vervollständigen die Messtechnikausstattung. Darüber hinaus ist eine mobile Klimakammer verfügbar, welche eine Untersuchung des Temperatureinflusses auf die Reibwertkennfelder erlaubt. Da es sich um eine mobile Prüfeinrichtung handelt, ermöglicht diese die Messung der Reibwertkennfelder von Profilstollenproben sowohl auf realen Fahrbahnen (beispielsweise öffentliche Straßen und Teststrecken) als auch auf den Oberflächen von Reifenprüfstandslaufbahnen (wie Außentrommeln oder Flachbahnen), 5.



5 Mobiler Linearzug-Reibwertprüfstand: Gesamtansicht mit Stützrädern für Messstellenwechsel (rechts oben), Messbetrieb auf der ATC-Teststrecke (unten links) sowie Messbetrieb mit Klimakammer (oben links); Vergleich der Rauigkeiten von Asphaltbeton und Korund P80 (unten rechts)

Die vom Linearzug-Reibwertprüfstand gemessenen Reibwertkennfelder erlauben neben einer Bewertung des Kraftschlussverhaltens von verschiedenen Laufstreifengummimischungen auch die Charakterisierung unterschiedlicher Fahrbahndecken bei allem möglichen Umgebungszuständen. Darüber hinaus können die Messdaten direkt zur Parametrierung komplexer 3D-Reifensimulationsmodelle wie FTire [5, 6] herangezogen werden.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Neben den beiden klassischen Außentrommelprüfständen zur Messung von Reifeneigenschaften unter Laborbedingungen sind bei ika und fka zwei mobile Prüfeinrichtungen im Einsatz, welche eine Charakterisierung des Kraftschlussverhaltens von Reifen auf unterschiedlichen realen Fahrbahnoberflächen ermöglichen. Während der fahrende Reifenprüfstand FaReP die Messung von Reifenkennfeldern für Quer- und Längsschlupf auf Teststrecken und öffentlichen Straßen erlaubt, werden mit den Linearzug-Reibwertprüfstand LiReP die lokalen Reibwertkennfelder einzelner Laufstreifengummi-

proben separat vom gesamten Reifen auf eben diesen Fahrbahnen gemessen. ika und fka sind daher mit der erforderlichen Prüfeinrichtung ausgestattet, um detaillierte ganzheitliche Untersuchungen der Kraftübertragungseigenschaften im Reifen-Fahrbahn-Kontakt unter verschiedensten Umgebungsbedingungen durchzuführen.

### LITERATURHINWEISE

- [1] Heißing, B.; Miksch, H.: Ein neuer Prüfstand für Nutzfahrzeugreifen. In: ATZ (80), 1978, Nr. 3
- [2] Köhn, P.; Holdmann, P.: Moderne Prüfstandstechnik für das Fahrwerk. In: ATZ 100 (1998), Nr. 9
- [3] Holdmann, P.; Köhn, P.: Einsatzmöglichkeiten des neuen dynamischen ika-Reifenprüfstands. 7. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 1998, Aachen, Oktober 1998
- [4] Unrau, H.-J.; Zamow, J.: TYDEX-Format – Description and Reference Manual. TYDEX-Workshop, [www.kfzbau.uni-karlsruhe.de/de/inhalt/gruppen/kfzbau/forschung/tydex/TydexNoFrame.html](http://www.kfzbau.uni-karlsruhe.de/de/inhalt/gruppen/kfzbau/forschung/tydex/TydexNoFrame.html), Karlsruhe 1997
- [5] Gipser, M.: FTire – Ein physikalisch basiertes, anwendungsorientiertes Reifenmodell für alle wichtigen fahrzeugdynamischen Fragestellungen. 4. Darmstädter Reifenkolloquium 2002, Düsseldorf: VDI, 2002
- [6] Gipser, M.: Reifensimulation mit FTire: Stand und Ausblick. 15. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2006, Aachen, Oktober 2006
- [7] Pacejka, H. B.; Bakker, E.: The Magic Formula Tyre Model. 1st International Colloquium on Tyre Models for Vehicle Dynamics Analysis, IAVSD, Delft, Okt. 1991
- [8] Roth, J.: Untersuchungen zur Kraftübertragung zwischen Pkw-Reifen und Fahrbahnen unter besonderer Berücksichtigung der Kraftschlusserkennung im rotierenden Rad. Darmstadt, Technische Universität, Dissertation
- [9] Bachmann, T.: Wechselwirkungen im Prozess der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn. Darmstadt, Technische Universität, Dissertation
- [10] Fischlein, H.: Untersuchung des Fahrbahnoberflächeneinflusses auf das Kraftschlussverhalten von Pkw-Reifen. Karlsruhe, Technische Hochschule, Dissertation
- [11] Bachmann, C.: Neuartiger mobiler Reifenprüfstand. In: Commercial Vehicle Cluster CVC News, 2009, Nr. 3
- [12] Hartweg, C.; Hüsemann, T.; Bachmann, C.: Entwicklung von Prüfstandstechnik zur Erfassung von verschiedenen Reifen-Fahrbahn-Reibwerten. Tagung Reifen Fahrwerk Fahrbahn, Hannover, Oktober 2009

## DANKE

Die Verfasser bedanken sich beim Direktor des ika, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein, der die Erstellung dieses Artikels erst ermöglicht hat. Neben den anfangs erwähnten Autoren stammen außerdem wichtige Beiträge zum Inhalt des Artikels von Dipl.-Ing. Christian Hartweg, der bei Entwicklung und Aufbau des fahrenden Reifenprüfstands während seiner Tätigkeit bei der fka maßgeblich mitgearbeitet hat, sowie von Nicolas Heyer, der sich um die Konstruktion und die Umsetzung des Linearzug-Reibwertprüfstands gekümmert hat. Darüber hinaus sei allen Kollegen des Reifenteams bei ika und fka für ihre wertvolle Mitarbeit in den dargestellten Projekten gedankt, sowie Sarah Biskup für die englische Übersetzung des Artikels.



DOWNLOAD DES BEITRAGS  
[www.ATZonline.de](http://www.ATZonline.de)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE  
order your test issue now: [SAM-service@springer.com](mailto:SAM-service@springer.com)