

07 motorsport-guide

Magazin für
Rennsport-Technik und -Business

September/Oktober 2009
ISSN 1866-7309
Einzelpreis 7,50 € / Abonnement 6,50 €

www.motorsport-guide.com

in Kooperation mit
Racecar
engineering

Schwarze Magie

Ein Blick auf den Einsatz von
Carbonfaserverbundstoff



Projekte und Produkte Sechs
randvolle Seiten mit Neuheiten aus der
Motorsport-Branche. S. 4

Ins Leichtgewicht gebracht
Faserverbundwerkstoffe sind im Motor-
sport heute vielfach Standard. Michael
Hackethal wirft einen Blick auf Glasfaser,
Carbon und Co.

Kundensport Audi startet mit dem
R8 LMS erstmals ein Kundenprogramm,
und das sehr erfolgreich. Mehr über den
GT-Renner hat Wolfgang Sievernich
zusammengetragen.

Strategien für die Krise
Einbrüche in der Auftragslage, wirtschaft-
liche Verluste, sinkende Starterzahlen -
Wolfgang Sievernich analysiert die aktuelle
Lage und zeigt Lösungen für die Krise auf.

NEUE SERIE: Fahrphysik
Erster Teil: Einflüsse von Auf- und Abtrieb
auf das Fahrverhalten von Rennfahrzeugen.
Von Joachim Wenzkus und Marc Fiedler
auf S. 32

Knallharte Seide Die erste Silk
Way Rallye wurde als Test für die Dakar gut
angenommen. Mehr über diese Asientour
der Extreme durch unbekanntes Terrain
von Stefanie Szlapka auf S. 38.

Akademischer Motorsport

Ein Team der RTWH Aachen tritt in der BFGoodrich Langstreckenmeisterschaft und beim 24h-Rennen am Nürburgring mit einem umgebauten Audi A4 TDI quattro an. Was sich unter der Haube getan hat und welche Aufgaben es sich stellt, beschreibt das Team im Detail.

Text: Stefan Gies, René Henn, Leif Ickert, Thomas Hanisch, Michael Kühne

Das Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen University möchte junge Menschen für die Aufgaben rund um die Fahrzeugentwicklung und -forschung begeistern. Deshalb entstand im Jahr 2007 die Idee, ein Fahrzeug für den Motorsport zu entwickeln und bei Langstreckenrennen auf dem Nürburgring einzusetzen. Das Rennfahrzeug, ein Audi A4 quattro mit einem 3,0 l TDI-Motor, wurde von Studenten und wissenschaftlichen Mitarbeitern des ika in Kooperation mit der Tuning Akademie (Ingolstadt) aufgebaut. Eine Vielzahl von Firmen und Industriepartnern haben mit der kostenlosen Bereitstellung von Komponenten und Know-how das Projekt gefördert und in dieser Form erst ermöglicht.

Nach dem Aufbau des Fahrzeugs beginnend mit einer Rohkarosserie und vielen Einzelteilen, wurde es 2008 bei diversen Rennen im Rahmen der BF-Goodrich Langstreckenmeisterschaft erprobt und weiterentwickelt. Im Winter 2008/2009 wurden Aerodynamik, Leichtbau, Motorkühlung und Fahrwerksabstimmung verbessert. Die ersten Ergebnisse der Saison 2009 zeigten das Potenzial des Fahrzeugs. Im Auftaktrennen fuhr das Team den ersten Klassensieg ein und beim wichtigsten Event, dem 24h-Rennen, konnte das Team nach knapp 2800 Rennkilometern das Ankommen und sogar den 3. Platz in der Klasse D3T feiern.

Aufbau des Fahrzeugs

Das Fahrzeug basiert auf der Rohkarosserie eines Audi RS4 (B7) mit einem FIA-homologierten Sicherheitskäfig. Der Käfig wurde speziell angefertigt und gemäß den Anfor-

derungen des Automobil-Sportgesetzes der FIA zertifiziert. Zum Aufbau des Rennwagens wurden Komponenten eines Audi RS4 (B7) mit dem Antriebstrang eines Audi A4 3.0 TDI kombiniert. Ein Schwesterfahrzeug stand während des Aufbaus als Applikationsfahrzeug zur Entwicklung der ABS/ESP Software und des Einsatzfahrwerks zur Verfügung.

Modifikationen am Antrieb

Das Fahrzeug konkurrierte bezüglich der Gesamtplatzierung auch mit klassenfremden, deutlich leistungsstärkeren Fahrzeugen, während der Wettbewerb innerhalb der Klasse D3T daher die konsequente Ausnutzung von Verbrauchsvorteilen des alternativen Treibstoffkonzeptes forderte. Die Auslegung des Antriebskonzeptes und die Definition der Fahrzeugparameter basieren auf der im Reglement vorgesehenen maximalen Fahrzeit von 2,5 h pro Fahrer ohne Zwischenstopp.

Unter diesen Rahmenbedingungen gilt es, eine Abstimmung mit maximaler Leistung bei optimalem Verbrauch zu entwickeln und das zulässige Tankvolumen vollständig auszuschöpfen. Dazu wurde von Contitech ein FT3-Tank mit einem Fassungsvermögen von 100 l hergestellt, der in die Reserveradmulde integriert ist. Durch die Reglement-

anpassung für 2009 musste dieser Tank mit Füllkörpern auf 70 l reduziert werden, was noch eine Distanz von zehn Runden Nordschleife plus GP-Strecke ermöglicht. Dies verkürzt die Fahrzeit pro Stint auf etwa 110 min.

Die Getriebeübersetzungen und das Motor-Kennfeld wurden für den Einsatz auf der Nürburgring-Nordschleife in Zusammenarbeit mit der Firma mtm optimiert. Bei der Getriebeabstufung wurde berücksichtigt, dass in der Langstreckenmeisterschaft auf dem Nürburgring (VLN) und auch während des 24h-Rennens ein fliegender Start erfolgt. Der langsamste Punkt auf der Strecke (Wehrseifen) wird im 2. Gang gefahren.



Limousinen-Kombi Das Rennfahrzeug kombiniert Technik aus zwei A4-Varianten

Um nach dieser Kurve die optimale Beschleunigung zu erreichen und nicht im Scheitelpunkt der nachfolgenden Rechtskurve schalten zu müssen, wurde der 2. Gang von $i = 2,050$ auf $i = 1,462$ verlängert und die Spreizung der Gänge 3 bis 6 reduziert. Zusätzlich wurden alle Gänge mit karbonverstärkten Synchronringen versehen, um auch bei schnellen Schaltvorgängen eine saubere Synchronisierung zu gewährleisten.

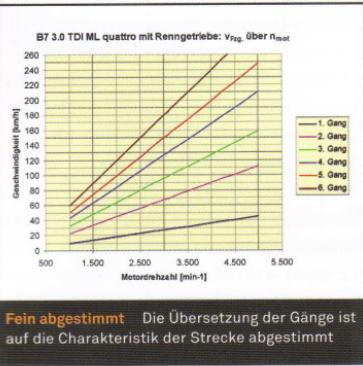
Im Antriebsaggregat kommt ein speziell entwickeltes Motoröl von Rowe Mineralöl zum Einsatz, welches auf optimale Schmierung bis zur zulässigen Höchstdrehzahl und den 24h-Rennbetrieb angepasst wurde. Der in die eigens von BN Pipes angefertigte Edelstahl-Abgasanlage integrierte HJS-Dieselpartikelfilter berücksichtigt die DMSB-Abgasvorschriften.

Fahrwerksoptimierung

Das Fahrwerk des Rennwagens basiert auf dem Serienfahrwerk des Audi RS4 der Baureihe B7. Die Kombination aus der über



Hochschaltung Das ika betrieb die Entwicklung des A4 quattro gezielt als Studienobjekt für Fahrwerk, Software und Werkstoffe



Fein abgestimmt Die Übersetzung der Gänge ist auf die Charakteristik der Strecke abgestimmt

Jahre beim Ingolstädter Autobauer weiterentwickelten Vierlenker-Vorderachse und der spursteuerten Trapezlenker-Hinterachse stellt dabei hinsichtlich Einstellbarkeit und Performance eine gute Basis für ein Rennsportfahrwerk dar.

Um die Fahrwerksteile bezüglich der Haltbarkeit auf den Einsatz bei Langstreckenrennen zu optimieren, wurden alle bewegten Fahrwerksteile (Führungslenker, Traglenker, Trapezlenker und Radträger) bei der Firma Metal Improvement kugelbelüftet. Bei diesem so genannten Controlled-Shotpeening-Verfahren werden die Oberflächen der Bauteile mit kleinen, kugelförmigen Glasteilchen beschossen, um die Widerstandsfähigkeit des Materials gegen Ermüdungsbruch, Korrosionsermüdung, Spannungsrißkorrosion und Versprödung zu erhöhen.

Die Aufbaufedern und Stoßdämpfer des Fahrwerks wurden für den Renneinsatz durch ein KW-Gewindefahrwerk ersetzt. An der Hinterachse werden dabei kombinierte Feder-Dämpfer-Elemente anstatt der serien-

mäßigen, getrennt angeordneten Aufbaufedern und Dämpfer eingesetzt. Die kombinierten Feder-Dämpfer-Elemente ermöglichen neben der verbesserten Einstellbarkeit einen einfacheren Austausch der Teile im Falle eines Unfalls oder Defekts. Die Stoßdämpfer basieren auf dem Prinzip des Einrohrdämpfers, die Kennungen werden für den Rennensatz optimiert. Sie verfügen über zweifach einstellbare Druckstufen und einfach einstellbare Zugstufen. Zusätzlich zur Einstellung der Stoßdämpfer bietet das verwendete Gewindefahrwerk die Möglichkeit, durch Veränderung der Fahrzeughöhe und der Bodenfreiheit das Fahrverhalten und die Aerodynamik des Rennwagens an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen.

An der Vorderachse arbeitet ein einstellbarer Stabilisator der Heggemann Autosport mit einem Einstellbereich von $\pm 30\%$ im Vergleich zum Serienstabilisator. Das optimale Fahrwerkssetup hinsichtlich Federraten und Dämpferkennungen wurde auf der Hydropulsanlage der Firma KW ermittelt.

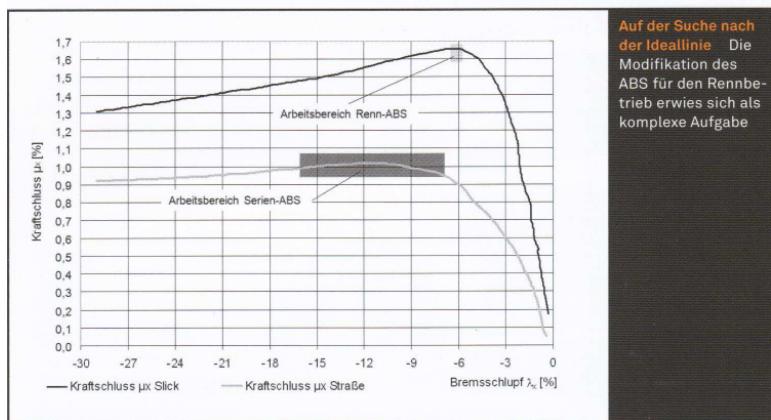
Ergänzend wurden bei der Anpassung des Fahrwerks die kinematischen und elasto-kinematischen Eigenschaften der Achsen untersucht und optimiert. Hierzu wurden sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterachse die in der Serie vornehmlich aus Gründen der Akustik und des Abrollkomforts eingesetzten Gummi-Metall-Lager und hydraulisch-dämpfenden Lager zum Teil durch starre Lagerungen ersetzt. Die Einstellung der Achskinematik bezüglich Spur- und Sturzkennungen erfolgt über den Einsatz verstellbarer Lenker in der oberen Führungsebene der Achsen. Die Spur- und Sturzkennungen wurden hinsichtlich opti-

maler Aufstandschaftverteilung der Reifen auch unter Berücksichtigung extremer Kurvenfahrt parametrisiert. Dies soll eine homogene Reifenbelastung über die gesamte Rennrunde gewährleisten. Zur Anwendung kam hierfür neben ADAMS-Mehrköpersimulationen auch das am ika mitentwickelte OPT-Tool [1, 2] zur Berechnung und Optimierung der Achskinematik.

Die Einsatzbereifung (Dunlop DTM Slick 265/660-18) wurde auf dem Reifenprüfstand des ika bei verschiedenen Betriebspunkten (Sturz, Schräglauwinkel, Geschwindigkeit und Temperatur) vermesssen. Die hier ermittelten Schlupfkennwerte und die daraus resultierenden ABS-Arbeitsbereiche wurden für Reifen gleicher Dimension bei etwa gleichen Betriebstemperaturen untersucht. Darüber hinaus konnte durch Nutzung des Reifenprüfstands und vorhandener Simulationstools die optimalen Spur- und Sturzwerte für die verwendeten Reifen im Renneinsatz ermittelt werden.

Eigene ABS-Steuerung

Im Bereich der Fahrdynamik wurde auch das ESP/ABS-System angepasst. Bei der Entwicklung des Serien-ABS muss der Fahrzeughersteller berücksichtigen, dass über die Fahrzeug-Lebensdauer Reifen mit verschiedenen Eigenschaften gefahren werden. Dennoch muss im Falle einer Notbremsung das Schlupfregelsystem mit diesen Reifenvarianten zu 100 % harmonieren. Unter keinen Umständen darf ein unterbremster Fahrzustand eintreten. Aus diesem Grund werden bei einem Serien-ABS die Schlupf-



vorgaben tendenziell höher eingestellt, um eine Regelung bis zum maximalen Kraftschlussbeiwert der Reifen zu gewährleisten.

Da aus Prüfstandsversuchen das exakte Verhalten der montierten Reifen bekannt war, konnte der Arbeitspunkt des ABS genau auf das Maximum der μ -Schlupf Kurve appliziert werden. Die bei Einsatz eines Serien-ABS in Verbindung mit Rennreifen normalerweise auftretenden großen Druckschwankungen konnten dadurch eliminiert und die Längskraftausnutzung optimiert werden. Auf Basis dieser Daten konnte der optimale Arbeitspunkt bzw. die optimale Parametrierung des Renn-ABS nach einer Verifikation im Fahrzeug festgelegt werden. Der Einsatz im Rennsport lässt eine speziell auf die eingesetzten Rennreifen und die Einsatzbedingungen zugeschnittene ESP- und ABS-Applikation zu. Der reduzierte Schlupfbedarf der Rennreifen wurde bei der Parametrierung des ABS durch eine ebenfalls reduzierte Sollschlupfvorgabe des ABS-Reglers mit Unterstützung des Automobilzulieferers Bosch entsprechend berücksichtigt.

Neben der geänderten ABS-Parametrierung wurden die Eingriffsschwellen für Stabilisierungseingriffe des ESP derart modifiziert, dass nur bei hohen Gierimpulsen, beispielsweise bei Kontakt mit einem anderen Fahrzeugs, das System den Fahrer unterstützt.

Karosserie

Das Gewicht des Fahrzeugs hat direkten Einfluss auf die Performance im Rennbetrieb. Zur Reduzierung des Karosseriegewichts wurden daher an den RWTH-Instituten IKV (Institut für Kunststoffverarbeitung) und ika Türen und eine Motorhaube

aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) entwickelt.

Für die Auslegung dieser Bauteile wurde ein Reverse-Engineering-Ansatz gewählt, bei dem Türen und Motorhaube digitalisiert und in ein FE-Modell zur Optimierung der Struktur überführt wurden. Über verschiedene Iterationsschleifen war es möglich, die Bauteile hinsichtlich des Gewichts zu optimieren und dabei die Steifigkeiten der Serienbauteile zu erreichen.

Im Einsatzfahrzeug kommen bisher Hybrittüren zum Einsatz, bei denen die Außenbleche der Stahl-Serientüren durch CFK ersetzt wurden. Bei der Herstellung der äußeren Türkontur mit dem Harzinfusionsverfahren wurde die CFK-Außenhaut der Hybrittüren mit den Stahlinnenblechen verklebt und dabei ein Gewichtsvorteil von 24 % zur konventionellen Stahltür erreicht.

Eine deutlich höhere Gewichtserspartnis lässt sich durch den neuen Ansatz der Integralbauweise erreichen. Neben der virtuellen Auslegung der Türen in dieser Art wurde eine Motorhaube in integraler Bauweise aus CFK entwickelt, die aktuell gefertigt wird. Dazu wurden die Bereiche des Innenbleches unter Beachtung der zu erwartenden Belastungen optimiert. Die Auflageflächen der Dichtung am Wasserkasten wurden zur einfachen Adaption des Bauteils ins Fahrzeug übernommen.

Statt der stahltypischen, doppelschaligen Konstruktion mit einem Innen- und einem Außenblech, die in einem späteren Prozess miteinander gefügt werden müssen, sieht das Konzept eine einschalige Lösung vor. Um dennoch die Anforderungen an die Steifigkeits- und Festigkeitsanforderungen

Auf der Suche nach der Ideallinie

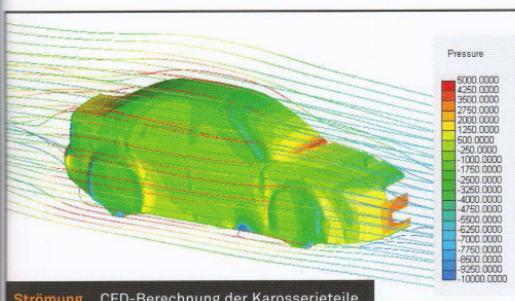
Die Modifikation des ABS für den Rennbetrieb erwies sich als komplexe Aufgabe

zu erfüllen, ist die Haube verstärkt. Dabei kommen abgerundete Hutprofile zum Einsatz, die zur Versteifung der Struktur aufgesetzt werden und mit CFK belegt werden.

Als Verstärkungsschaum setzen IKV und ika derzeit den Hartschaumstoff Polymethacrylimid (PMI) von Evonik ein, der vor allem aufgrund seiner Festigkeit und Temperaturbeständigkeit für diese Anwendung geeignet ist. Insgesamt konnte bei der CFK-Haube eine Gewichtersparnis von 60 % erreicht werden. Die Herstellung von Voll-CFK-Türen, die 63 % leichter als die Stahltür sind, ist noch in der Diskussion. Die Auslegung eines CFK-Heckdeckels, der eine Gewichtsreduktion von 72 % verspricht, wurde ebenfalls im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten virtuell entwickelt. Hierbei werden Sandwichplatten zur räumlichen Verstärkung des Bauteils eingesetzt. Die Herstellung dieses Bauteils ist für die Zukunft geplant.

Um weiteres Gewicht zu sparen, wurden Seitenscheiben und Heckscheibe aus Hartkunststoff von Evonik Röhm gefertigt. Diese wurden mit den entsprechenden Bauteilen verklebt, wodurch sich die Anzahl der Materialpaarungen und somit die Anforderungen an den benötigten Klebstoff erhöhte. Zum Einsatz kommt ein neuer Einkomponenten-Klebstoff von Henkel auf Basis silan-modifizierter Polymere (MS-Klebstoff). Zum Nachweis der Haltbarkeit der Klebstoffe wurde im Labor unter Berücksichtigung von Langzeit-Haftungs-





Tests das Verhalten der Klebstoffe unter Bewitterung und Temperaturverhalten überprüft.

Zur Optimierung des Kraftstoffverbrauchs wurde die Aerodynamik nicht auf maximalen Abtrieb, sondern auf einen reduzierten Luftwiderstand ausgelegt. Dabei wurde im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten eine Unterbodenverkleidung zur Senkung des Luftwiderstands für das Fahrzeug konstruiert. Im vorderen Fahrzeubereich kommt ein Kunststoff-Sandwichmaterial zum Einsatz, dass auch für die geeignete Luftzufuhr in den Kühler sorgt. Im hinteren Fahrzeubereich kommt ein Aluminium-Sandwichmaterial der Fa. Metawell zum Einsatz, das neben einer geeigneten Luftführung unter dem Fahrzeug auch Luftöffnungen zur Kühlung der hinteren Abgasanlage und des Differentials beinhaltet (Bild 4). Durch die nachträgliche Einbringung der Lüftöffnungen konnten die Temperaturen des hinteren Differentials um 30°C gesenkt werden.

Zur Simulation mit Hilfe der Computational-Fluid-Dynamics (CFD)-Methode wurde ein Modell zur Berechnung der Fahrzeug aerodynamik mit Hyperworks von Altair und SC/Tetra von Cradle erstellt. Dazu wurde neben der Außenhaut auch ein Ersatzmodell des Motors vorgesehen, um bei der Durchströmung des Motorraums ein geeignetes Design für die Entlüftung zu ermitteln (Bild 5). Außerdem wurden die Radhäuser modifiziert und ein angepasster Heckflügel entwickelt.

Elektrik/Elektronik

Die Serienbatterie muss ein breites Feld an Anforderungen (Anzahl Stromverbraucher, Umgebungsbedingungen, Kaltstart, Leistungsverbraucher auch bei Motor aus etc.) abdecken. In einem Rennfahrzeug ist dieses Spektrum deutlich reduziert. Durch Einsatz

einer kleiner dimensionierten Batterie kann Gewicht gespart werden, die eingesetzte Renn-Batterie ist 38 % leichter. Die Auslegung erfolgte für den Fall »Wieder-Start« eines betriebswarmen Motors bei einem Zwischenfall im Rennbetrieb.

Basis für den Aufbau war der Serien-Kabelbaum, der aus Gewichtsgründen auf den notwendigen Umfang reduziert und an die Anforderungen des Rennwagens angepasst wurde. Als Grundkomponenten waren Scheinwerfer, Scheibenwischer und Motor-elektronik in das Fahrzeug zu integrieren.

Die Vernetzung (zusammengeschaltete Steuergeräte/Elektroniken) basiert auf Serienkomponenten. Damit beispielsweise der Motor fehlerfrei läuft, müssen Informationen anderer Steuergeräte vorhanden sein. Die Anzahl der verwendeten Komponenten bei Sicherstellung der erforderlichen Kommunikation wurde minimiert. Basierend auf Messungen im Schwesterfahrzeug wurde Schritt für Schritt die Vernetzung des Rennwagens aufgebaut und in Betrieb genommen. Neben Motor-, Bremsenelektronik und Kombiinstrument wurden auch Teile der Komfortelektronik (z.B. Lampensteuerung) in den Rennwagen übernommen

Während des Rennens werden relevante Fahrzeuggrößen überwacht, die einen Hinweis auf mögliche Schädigungen gewisser Komponenten geben können. Zu diesen Größen gehören Motordrehzahl, Gangwahl, Ladedruck sowie Öl-, Wasser- und Ansauglufttemperatur. Kommt es hier zu Auffälligkeiten, kann der Fahrer bereits auf der Strecke durch angepasste Fahrweise reagieren. Die Datenauswertung beim Boxenstop bietet zudem die Möglichkeit der detaillierten Offline-Analyse und Ableitung entsprechender Maßnahmen.

Ausblick

Nach dem Aufbau und ersten Erfahrungen beim Einsatz des Rennwagens wurde dieser durch die beschriebenen Maßnahmen stetig weiter entwickelt. Die Ergebnisse bei den VLN-Einsätzen in 2009 und dem erfolgreich absolvierten 24h-Rennen bestätigten das Potenzial des Wagens und belohnten das junge und motivierte Team für die Arbeit



der vergangenen Monate.

Nach dem 24 h-Rennen sind nun weitere Motorsport einsätze im Rahmen der Langstreckenmeisterschaft auf dem Nürburgring in der Klasse D3T geplant. Die kontinuierliche Verbesserung von Komponenten und Setup läuft natürlich weiter. Vor allem hinsichtlich der Auslegung von Karosseriekomponenten aus faserverstärktem Kunststoff, der Gewichtseinsparung durch weitere innovative Werkstoffe sowie bei der Optimierung des Fahrwerks bietet das Fahrzeug weiteres Potenzial. Auch im Bereich des Antriebsstrangs werden mit jedem Rennen neue Erkenntnisse gewonnen, die Ansätze für entsprechende Verbesserungen bieten. Derzeit in Diskussion ist mit Unterstützung von DiNaWa die Umstellung des Kraftstoffs auf Biodiesel der zweiten Generation, um auch im Bereich des Antriebskonzeptes innovative Akzente zu setzen.

Die Teams des ika und der Tuning Akademie sowie der beteiligten Industriepartner unterstützen sich dabei gegenseitig, um Kompetenzen zu bündeln, interdisziplinäres Arbeiten zu fördern und den Studenten und Ingenieuren an der RWTH Aachen University die Faszination der Automobilentwicklung in dieser besonderen Form näher zu bringen.

[•]

René Henn, ika Aachen

Tel +49 (0)241 80 25641

henn@ika.rwth-aachen.de

Literaturhinweise

- [1] Albers, I; Elbers, C.: Berechnung und Darstellung von Gelenkwinkeln im Fahrwerk. In: ATZ 11/2005.
- [2] Albers, I; Elbers, C.: Use of a Virtual Product Environment for Axle Suspension System Development and Joint Angle Calculation. In: FISITA 2006 World Automotive Congress, Yokohama (Japan), 22.-27.10.2006