

# Universalprüfstand für Kfz-Antriebsstränge

Mit dem am Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau (mkl) der Universität Karlsruhe aufgebauten Antriebsbaugruppen-Prüfstand steht eine universelle Prüfumgebung für Kraftfahrzeug-Antriebsstränge zur Verfügung. Sie ermöglicht die Untersuchung sowohl einzelner Antriebsstrangkomponenten als auch kompletter Triebstränge unter realitätsnahen Bedingungen. Die für Verbrennungsmotoren typische Ungleichförmigkeit wird am Prüfstand mit Elektromotoren erzeugt, wodurch eine flexible Nachbildung verschiedener Motorcharakteristiken, Zylinderzahlen und Verbrennungsarten möglich ist.

## ■ Forschungsumfeld

Das Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau (mkl) arbeitet auf den Themengebieten Produktentwicklung, Optimierung, Mechatronik, Kraftfahrzeugbau und Antriebstechnik. Jeder Themenbereich wird von eigenständigen Arbeitsgruppen bearbeitet. Ziel der Gruppe Antriebstechnik ist – neben Grundlagenuntersuchungen – die Erforschung des Zusammenhangs subjektiver und objektiver Komfortbeurteilung von Kraftfahrzeugen mit Focus auf Fragestellungen der Antriebskonzeption. In diesen Forschungsbereichen werden Untersuchungen im Versuchsfahrzeug, durch Simulation mit Rechenmodellen und auf dem neu errichteten Universalprüfstand durchgeführt. Vielfältige weitere Prüfeinrichtungen für Kupplungen, Gleit-

und Wälzlager sowie Motorenkomponenten runden das Versuchsspektrum ab.

Eine Beschleunigung der Entwicklungsprozesse in der Antriebsstrangentwicklung kann nur durch eine weitere Integration der Felder Fahrversuch, Prüfstandversuch und Simulation erfolgen. Am Institut für mkl wird ein solcher ganzheitlicher Ansatz entwickelt. Ziel ist es, bereits in der Entwicklungsphase durch validierte Simulationen kundenrelevante Aussagen zur Antriebsstrangauslegung und -dynamik zu gewinnen. Zum Erreichen dieses Ziels sind umfangreiche Forschungsarbeiten notwendig, die theoretische Modelle und experimentell erprobte Werkzeuge für diese CAE-Aufgaben liefern. Durch den Aufbau einer vollständigen Entwicklungsumgebung aus Versuchsfahrzeug, neuen Prüf-

ständen und Simulationstools werden am Institut für mkl diese Forschungsaufgaben angegangen [1]. Der dafür neu entwickelte Antriebsbaugruppen-Prüfstand (ABP) soll im Folgenden in seinem Aufbau beschrieben werden.

## ■ Aufbau des Prüfstands

Das Grundkonzept des Prüfstands ist ein Baukasten mit verschiedenen Antriebs-, Brems- und Betätigungseinheiten, die auf einer gemeinsamen, großzügigen Aufspannplatte flexibel angeordnet werden können. Damit ist es möglich, jede gängige Antriebsstrangkonfiguration aufzubauen. Die zu prüfenden Komponenten werden dabei torsionssteif an die Prüfstandsantriebe angeschlossen, um eine Torsionsschwingungsanregung in großen Frequenzbereichen zu ermöglichen.

Es stehen vier Elektromotoren mit eigenen Umrichtern zur Verfügung, die wahlweise als Antriebs- oder als Bremsmaschinen eingesetzt werden können. Zwei permanenterregte Synchron-Servomotoren können über ein als Hochtreibergetriebe ausgeführtes Koppelgetriebe zu einer Antriebseinheit kombiniert werden. Der Drehzahlbereich gängiger Fahrzeugmotoren sowie Anregungsfrequenzen bis 250 Hz werden damit abgedeckt. Zwei Asynchronmaschinen mit hohen Drehzahl- und Drehmomentfähigkeiten stellen die Belastungsmaschinen dar. Die Bremsenergie wird über die gemeinsame Gleichstromschiene aller Umrichter gewonnen.

Aufgrund des hohen Verhältnisses von Drehmoment zu Massenträgheitsmoment der Antriebseinheit sind Winkelbeschleunigungen bis zu  $3500 \text{ rad/s}^2$  möglich, was selbst die Nachbildung der Ungleichförmigkeit von modernen Dieselmotoren erlaubt.

Die Prüfstandsteuerung ist modular hierarchisch aufgebaut. Der Bediener definiert den Prüfaufbau sowie die Grenzwerte des Versuchs und gibt über ein Ablaufprogramm oder online den gewünschten Prüfablauf

*Untersuchung eines Standardantriebs am Antriebsbaugruppen-Prüfstand*



vor. Die Vorgaben enthalten Fahrzeuginformationen, aus denen online Fahrwiderstände und somit Bremsmomente berechnet werden, Drehzahl-, Drehmoment- und Anregungsverläufe, unter denen der Triebstrang geprüft werden soll, sowie Fahrereingriffe, wie beispielsweise die Kupplungsbetätigung. Im Fahrzeug gemessene Ungleichförmigkeitskennfelder in Abhängigkeit von Drehzahl und Belastung können ebenfalls vorgegeben und genutzt werden.

Die Regelung des vom Bediener vorgegebenen Ablaufs sowie die Einhaltung der definierten Grenzwerte erfolgt auf einem separaten PC, dem Motor-Regelungsrechner, der ausschließlich zu diesem Zweck betrieben wird.

Die softwarebasierte Drehzahlregelung der Antriebsmotoren stellt einen entscheidenden Teil des Entwicklungsaufwands dar. Nur durch sie kann die gewünschte dynamische Eigenschaft der definierten und flexiblen Drehzahlungleichförmigkeit realisiert werden. Ein weiterer Rechner ist in Kombination mit einem mobilen Datenaufzeichnungsgerät für die Speicherung der Messdaten zuständig und führt dies während des Versuchablaufs autark durch.

#### ■ Messtechnik

Die zur Überwachung des Prüftriebs wichtige Drehmomentmessung erfolgt an den Antriebs- und Bremsmotoren mittels selbstgefertigter Drehmomentmesswellen, die sich durch hohe Torsionssteifigkeit und Genauigkeit bei niederem Massträgheitsmoment auszeichnen. Sie wurden eigens für diese Aufgabenstellung entwickelt.

Die Genauigkeit der Messwellen ist ausreichend, um auch Wirkungsgradmessungen durchführen zu können. Weitere Drehmomentmessstellen werden durch Applikation von Teilen der Prüflinge und Kalibrierung am Prüfstand gezielt eingerichtet.

Drehzahlen werden an den Prüfstandsmaschinen durch Inkrementaldrehgeber erfasst. Drehzahlen der Prüflingsteile werden durch magnetoresistive Sensoren, die Zahnräder abtasten berechnet. Sämtliche Messgrößen werden mit dem Datenaufzeichnungsgerät TORNADO [2] aufgezeichnet, das es ermöglicht, aus Zahnradimpulsen durch hochge-

naue Pulsweitenmessung Drehzahlverläufe und Verdrehwinkel zu berechnen.

Die Optimierung des dynamischen Prüfstandverhaltens erfolgt vor Versuchsbeginn auf einer Simulationsplattform, die auf Basis des kommerziellen Simulationsprogramms ITI-SIM [3] eingerichtet wurde. Die Kombination von mechanischen, elektrischen und signalverarbeitenden Funktionsblöcken ist dabei vorgesehen und ermöglicht die Simulation des Gesamtsystems [4].

Ergänzend zu Prüfstands- und Fahr-

versuchen wird auch die Simulation des Kraftfahrzeug-Antriebsstrangs als System konzentrierter Parameter durchgeführt. Die Parameterermittlung erfolgt hierzu am universellen ABP, der die Messung statischer und dynamischer Steifigkeiten, Hysteresen, Dämpfungen und Wirkungsgrade erlaubt.

#### ■ Vergleich von Messung und Simulation

Ein Vergleich von Messung und Simulation ist in einem Digramm beispielhaft dargestellt. Es handelt sich

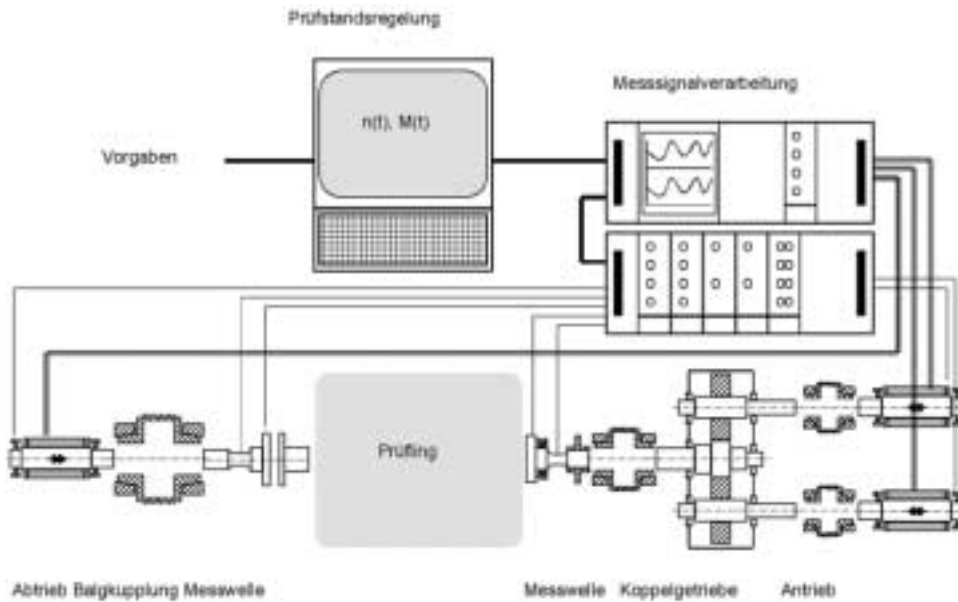
Wo ist Nummer 73\*?

<http://www.gif-ac.com>

*\*Wir sind weltweit Marktführer mit  
72 Antriebsstrangprüfständen - und wir bauen weiter...*

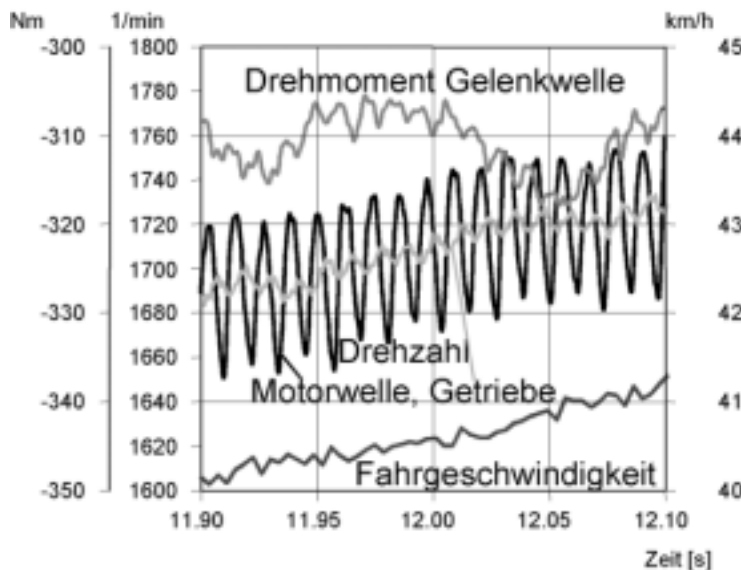
**GIF**  
Gesellschaft für Industrieforschung

Jülicher Straße 499 • 52070 Aachen • Tel.: 0241-96809-0 • [info@gif-ac.com](mailto:info@gif-ac.com)

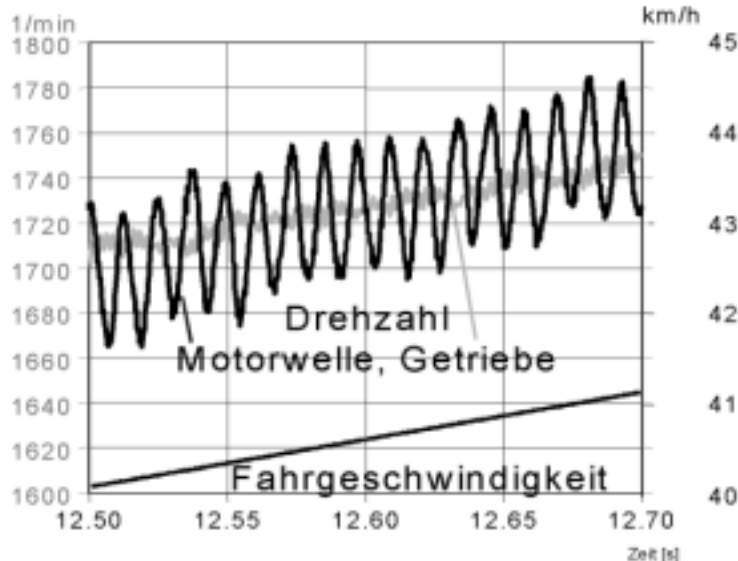


Schematisches Funktions- und Simulationsmodell des Antriebsbaugruppen-Prüfstands

Beschleunigungsfahrt:  
Messergebnis  
eines Fahr-  
versuchs



Beschleunigungsfahrt:  
Messergebnis  
am Prüfstand



dabei um eine beschleunigte Fahrt unter Vollast. In einem Ausschnitt von 0,2 Sekunden ist die Motordrehzahl von rund 1700/min, die Getriebedrehzahl, die Fahrgeschwindigkeit von rund 40 km/h und das im Antriebsstrang herrschende Drehmoment – in der Gelenkwelle gemessen – von etwa 310 Nm dargestellt. Deutlich ist die sinusförmige Drehzahlungleichförmigkeit mit einer Amplitude von 35/min zu erkennen. Die Simulation der Beschleunigungsfahrt mit Modellen für Fahrzeug, Motor und Triebstrang zeigt praktisch identische Ergebnisse und ermöglicht die weitere Analyse der Betriebsbelastungen und der Rückwirkungen auf den Fahrer.

Die Fahr situation wird am universellen Antriebsbaugruppen-Prüfstand mit dem identischen Antriebsstrang nachgestellt. Die numerische Simulation des Prüfstandverhaltens dient hierbei zur Optimierung der Regelparameter. Die Messergebnisse des Prüfstandversuchs und die Simulationsergebnisse sind in den Diagrammen dargestellt. Sie zeigen jeweils gute Übereinstimmung mit den im Fahrzeug gemessenen Größen und somit die hohe Funktionalität der Vorgehensweise.

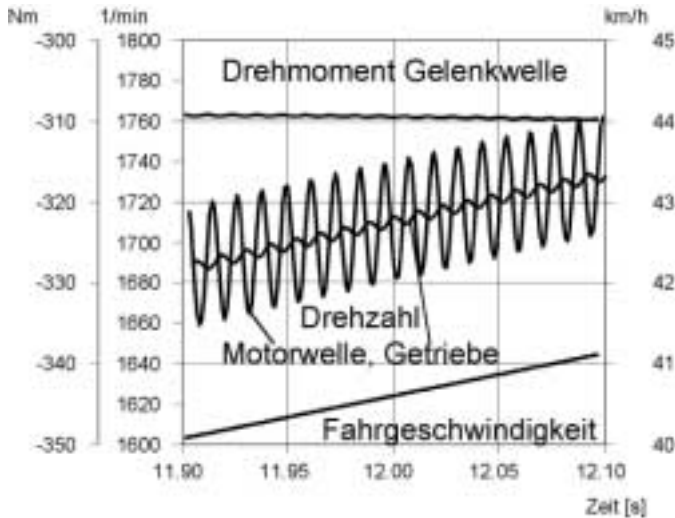
**Zusammenfassung**

Der am Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau (mkl) aufgebaute Antriebsbaugruppen-Prüfstand (ABP) ermöglicht die universelle Untersuchung von Kfz-Antriebssträngen bis zur PKW-Mittelklasse unter praktisch beliebig frei definierbaren Bedingungen. Die wichtigsten Technische Daten des Prüfstands sind in der Tabelle zusammen gefasst. Als Partner der Automobilindustrie steht dem Institut für mkl mit dem ABP ein Untersuchungsmedium zur Verfügung, das vor allem in Torsionsschwingungsfragen Aufschluss geben kann. Die Vorteile der Zugänglichkeit, der leichten Anbringung weiterer Sensoren, der Variation der Anre-

Technische Daten des Prüfstands

Antriebsleistung	190 kW
Antriebsdrehzahl	0 - 6600 1/min
Antriebsnennmoment	260 Nm
zwei Belastungsmaschinen mit jeweils:	
Bremsleistung	2 x 120 kW
Bremsdrehzahl	0 - 4500 1/min
Bremsnennmoment	1578 Nm





Beschleunigungsfahrt: Simulationsergebnis

gungscharakteristiken und Fahrzeugreaktionen, der freien Definition der Betriebsbedingungen, der hohen Reproduzierbarkeit und Beherrschung der Umwelteinflüsse verbessert die Möglichkeiten des Produktentwicklungsprozesses im Bereich Antriebsstrang Engineering. Die Untersuchungsergebnisse des Prüfstands ermöglichen die Erstellung und Verifikation komplexer Simulationsmodelle für die Komponenten des Antriebsstrangs und schaffen dadurch weitere Transparenz des Systemverhaltens.

o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers und Dipl.-Ing. Ralph Lux

■ Literaturhinweise

- [1] Lux, R.; Burger, W.; Albers, A.: Neuartiger, universell einsetzbarer Antriebsbaugruppen-Prüfstand. VDI Bericht 1470 (1999), S. 143-161
- [2] AFT Atlas Fahrzeugtechnik GmbH (Hrsg.): Tornado The Automotive High Speed Datalogger by A F T. User Manual, Werdohl, Atlas Fahrzeugtechnik GmbH 1998
- [3] ITI Gesellschaft für ingenieurtechnische Informationsverarbeitung (Hrsg.): ITI-SIM 3 Benutzerhandbuch. Dresden: ITI Gesellschaft für ingenieurtechnische Informationsverarbeitung, 1999
- [4] Lux, R.; Krüger, A.; Albers, A.: Dynamiksimulation komplettiert Prüfstands- und Fahrversuche. Simulation im Maschinenbau 24./25. Februar 2000, Dresden, S. 349-366

**Besuchen Sie uns  
im Internet:  
[www.atz-mtz.de](http://www.atz-mtz.de)**

**March 5-8, 2001  
Cobo Center  
Detroit Michigan USA**

**“Succeeding  
in the  
Alliance Game”**

Ever strengthening and complex strategic alliances... OEM's with OEM's, OEM's with suppliers, and suppliers with suppliers... are a strong factor in today's global industry, and will be of high interest to the 16%+ overseas attendees.

This year's exposition will feature over 1,200 industry suppliers and manufacturers... 300+ from outside North America. The largest technical program ever will be organized in five in-depth conferences within the SAE 2001 World Congress including:

- Safety
- Emissions
- Electronics/Intelligent Vehicles
- Materials, and
- Powertrain (new for 2001!)

Reserve your flight NOW for the only event that brings you "hands-on" experience of leading-edge developments, (no virtual reality here.) The next shuttle won't depart until 2002!

For event details including registration, program requests, special events and more:  
[www.sae.org/congress](http://www.sae.org/congress)  
or call TOLL FREE  
**1-877/SAE CONG**  
(Outside the US and Canada, call  
1-724-772-4027.)

Hosted by Administered by

**ATTEND, and let  
SAE bring the world  
of automotive  
engineering to you.**

DG-1001