

## **Neuartiger, universell einsetzbarer**

### **Antriebsbaugruppen-Prüfstand**

Hochdynamische Synchron-Servoantriebe eröffnen neue Möglichkeiten zur Simulation von Verbrennungsmotoren.

## **A New Powertrain Assembly Test-Bench**

### **Universally Applicable**

High dynamic servo motors establish new possibilities to simulate combustion engines

Dipl.-Ing. **Ralph Lux**, Karlsruhe, Dr.-Ing. **Wolfgang Burger**, Karlsruhe, o. Prof. Dr.-Ing. **Albert Albers**, Karlsruhe

#### **Zusammenfassung**

Im vorliegenden Beitrag wird der am Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau der Universität Karlsruhe entstandene Universalprüfstand zur Untersuchung von Kraftfahrzeug-Antriebssträngen vorgestellt, der mit hochdynamischen Servomotoren betrieben wird. Synchronmotoren mit besonders niederem Massenträgheitsmoment liefern ausreichend hohe Dynamik, um die Drehmomentschwankungen des zu simulierenden Verbrennungsmotors nachbilden zu können. Ebenso ist es möglich, die Rückwirkungen des Fahrzeugs auf die zu prüfenden Teile des Antriebsstrangs mit den Elektromotoren der Bremsseite nachzubilden.

Die Antriebe des Prüfstands sowie die abhängig vom Aufbau eingesetzten Aktoren werden dabei von einem Rechner geregelt. Zwei weitere Rechner dienen der Prüfstandsgesamtsteuerung und Meßdatenerfassung.

Drehzahlen und Drehwinkel werden meßtechnisch über Inkrementalgeber aufgenommen. Speziell entwickelte hochgenaue Drehmomentmeßwellen lassen präzise Momentmessungen in allen Prüfbereichen zu. Zur Drehschwingungsmessung sowie zur Messung akustischer Kenngrößen wird ein kommerzielles System eingesetzt.

## **Summary**

A new powertrain test-bench developed at the Institute of Mechanical Engineering at the University of Karlsruhe is presented in this paper. It is driven by four high dynamic synchron electric motors with low inertia. The achieved dynamic is high enough to simulate the torque oscillation of a combustion engine and the influence of the car reactions on the unit under test. Depending on the arrangement of the test-bench the electric motors and actors are controlled by a personal computer. Two more computers are used for control of the trial and measurement data logging. Rotation angle and speed are detected by increment sensors. High accuracy torque measurement shafts developed in a special way permit precise measurements. A business application system is used to measure speed oscillation and acoustic data.

## **1. Einleitung**

Verbrennungsmotoren liefern auf Grund des ungleichförmigen Drehmomentverlaufs auch bei scheinbar „konstanter“ Drehzahl eine über die Zeit veränderliche Drehzahl. Diese Drehzahlungleichförmigkeit regt den Antriebsstrang aus Kupplung, Getriebe, Antriebswellen, Differential und Rädern zu Drehschwingungen an, die in der Regel mit Komforteinbußen wie beispielsweise Brumm- oder Klappergeräuschen verbunden sind. Die Untersuchung dieser Phänomene im Fahrzeug ist umständlich und mit hohen Kosten verbunden.

Grundsätzlich kann der gesamte Antriebsstrang einschließlich Motor aus dem Fahrzeug entnommen und extern aufgebaut werden. Wünschenswert wäre jedoch, die Untersuchungen ohne den Verbrennungsmotor durchzuführen zu können. Ideal wäre ein frei programmierbarer Antrieb, der im Rahmen des technisch machbaren beliebige Drehzahl- und Drehmomentverläufe darstellen kann. Einerseits könnte man hierdurch die mit dem Betrieb eines Verbrennungsmotors im Inneren eines Gebäudes verbundenen Probleme wie Brandschutz- und Abgasproblematik umgehen, andererseits würde man die Freiheit gewinnen, quasi „per Knopfdruck“ einen anderen Motor mit anderer Zylinderzahl oder anderer Drehmomentungleichförmigkeit mit den zu untersuchenden Antriebsstrangkomponenten zu verbinden. Im folgenden soll ein neuartiger Prüfstand vorgestellt werden, der genau diese Möglichkeiten bietet.

## **2. Stand der Technik**

Bereits in der Vergangenheit wurden verschiedentlich Prüfstände aufgebaut, die in der Lage sind, der Grunddrehzahl überlagerte Drehschwingungen zu erzeugen. Die Drehungleichförmigkeit wird dabei in der Regel mechanisch über abgeknickte Kreuzgelenke oder Planetengetriebe in Kombination mit hydraulischen Pulsern erzeugt [1]. Nachdem seit einigen Jahren mit permanenterregten Synchron-Maschinen hochdynamische elektrische Antriebe mit sehr geringem Trägheitsmoment auf dem Markt verfügbar sind, wurde mehrfach versucht, diese als Prüfstandsantrieb einzusetzen [2] und [3]. Hochdynamische Prüfstände mit Antriebsleistungen bis 12 kW wurden bereits realisiert [4] und [5]. Mit diesen Prüfständen wurden Geräuschphänomene im Leerlauf untersucht. Antriebsmotoren höherer Leistungen jenseits 100 kW, die die Simulation kompletter Fahrzyklen inklusive Vollgas-Beschleunigung erlauben, sind seit wenigen Jahren verfügbar. Damit lag die Überlegung nahe, zu versuchen, einen Antriebsstrang-Prüfstand auf Basis dieser neuartigen Elektroantriebe aufzubauen.

## **3. Prüfstandskonzept**

### **3.1 Funktionsprinzip**

Das Grundkonzept des Prüfstands basiert auf einem Baukastensystem. Es stehen vier Motoren zur Verfügung, die wahlweise als Antriebs- oder als Bremsmaschinen auf einer Aufspannplatte eingesetzt werden können. Zwischen den Maschinen werden die zu untersuchenden Antriebsstrang-Komponenten montiert. Dabei kann es sich z.B. um ein Handschaltgetriebe oder auch um einen kompletten Antriebsstrang mit Radnaben, Seitenwellen, Differential, Gelenkwelle, Kennungswandler und Schwungrad handeln. Die Prüfstands-Montagefläche reicht aus, um jede gängige PKW-Antriebskonfiguration aufzubauen.

#### **3.1.1 Mechanischer Aufbau**

Bild 1 zeigt eine Ansicht der Prüfstandsaufspannplatte mit einem denkbaren Versuchsaufbau in T-Anordnung. Es ist die Aufspannplatte, zwei Antriebsmotoren mit

Koppelgetriebe und Drehmomentmeßwelle, der zu untersuchende Antriebsstrang und die beiden Bremsmaschinen, jeweils mit Drehmomentmeßwelle abgebildet. Die auf einem Schwingfundament gelagerte Grundplatte besteht aus Gußeisen mit T-Nuten und hat eine Grundfläche von 4,5 m x 6,5 m. Die Antriebsmaschinen haben eine elektrische Dauerleistung von 95 kW, ein maximales Drehmoment von 300 Nm (kurzzeitig 450 Nm) und ein Massenträgheitsmoment von 0,137 kgm<sup>2</sup>. Die Bremsmaschinen haben eine elektrische Dauerleistung von 112 kW und können ein maximales Drehmoment von 350 Nm (kurzzeitig 550 Nm) liefern, dies allerdings auf Kosten eines etwas höheren Trägheitsmoments von 0,165 kgm<sup>2</sup>.

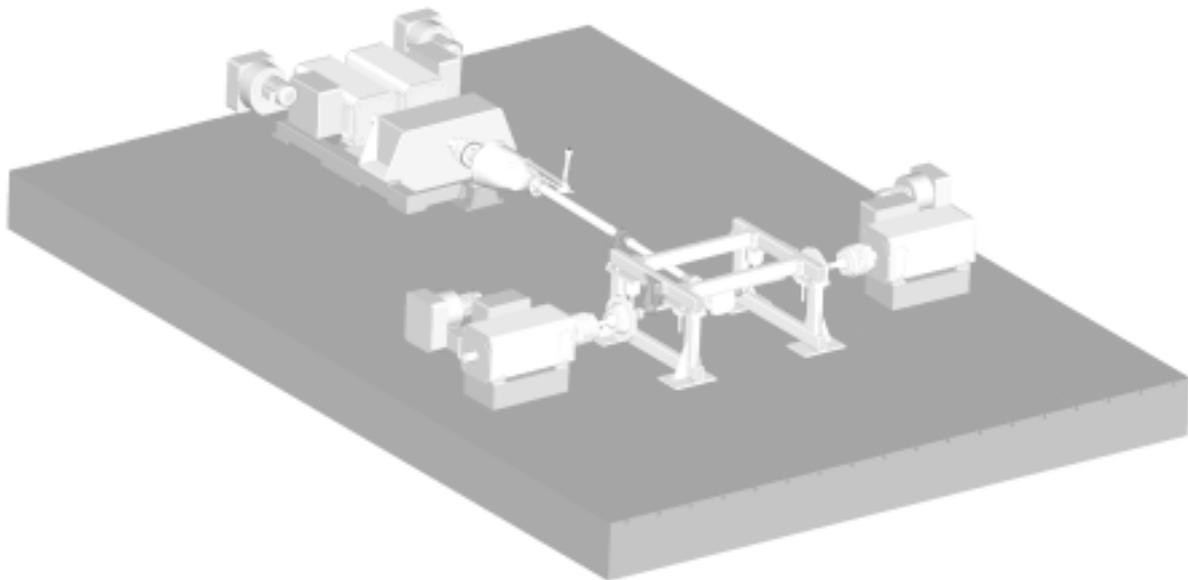


Bild 1: Gesamtprüfstand mit Antriebsstrang in T-Aufbau

Fig. 1: Testbench with Powertrain in T-configuration

Permanenterregte Synchron-Servomotoren sind kurzzeitig hoch überlastbar, weil die Verlustwärme allein im Stator-Wicklungspaket entsteht und deshalb gut über das Gehäuse abgeführt werden kann. Außerdem sind sie kollektorlos, so daß keine Gefahr der Beschädigung durch Überstrom besteht. Kleinere Motoren können kurzzeitig bis zum vierfachen Nennmoment belastet werden, ohne Schaden zu nehmen. Die an diesem Prüfstand eingesetzten Antriebe erlauben immerhin noch eine Überlastung um den Faktor 1,6 im Minutenbereich. So stehen für kurze Beschleunigungsphasen zusätzliche Leistungsreserven zur Verfügung.

Die maximale Drehzahl aller Maschinen beträgt  $3000 \text{ min}^{-1}$ . Reicht diese für einen Versuch nicht aus, kann über ein Koppelgetriebe mit einer Übersetzung von 2,3 die Drehzahl auf ca.  $7000 \text{ min}^{-1}$  gesteigert werden. Um den dadurch auftretenden Verlust an Abtriebsmoment auszugleichen, werden zwei gleiche Motoren mechanisch parallel geschaltet. Das maximale Antriebsmoment des Prüfstands beträgt in diesem Fall noch 250 Nm.

Sollen andererseits Verbrennungsmotoren kleinerer Leistung, wie sie in den neueren Mini-Fahrzeugen eingesetzt werden, simuliert werden, so können die momentan vorhandenen Maschinen problemlos gegen kleinere mit geringerer Leistung und kleinerem Trägheitsmoment ausgetauscht werden, ohne daß an den Installationen Veränderungen vorgenommen werden müßten.

Alle Motoren sind über hochflexible Kabel mit den Anschlußboxen verbunden, sodaß ihre Position leicht verändert werden kann. Alle Prüfstandsteile sind weitestgehend als Baukastensystem ausgeführt, so daß jeder Prüfaufbau mit geringem Fertigungsaufwand realisiert werden kann.

Um die bei niederen Gängen geforderten hohen Bremsmomente bis zu 1500 Nm zu erreichen, ist geplant, auf der Abtriebsseite zwischen Drehmomentmeßwellen und Bremsmotoren Zwischengetriebe zu schalten. Ebenso ist der Einsatz zusätzlicher Bremsen vorgesehen, um die Bremsmaschinen zu entlasten.

### 3.1.2 Elektrischer Aufbau

Für jeden Elektromotor ist ein eigener Umrichter vorhanden. Die vier Umrichter sind über die Gleichstromschiene gekoppelt, so daß in den Bremsmaschinen gewonnene elektrische Energie direkt wieder der Abtriebsseite zugeführt werden kann (s. Bild 2).

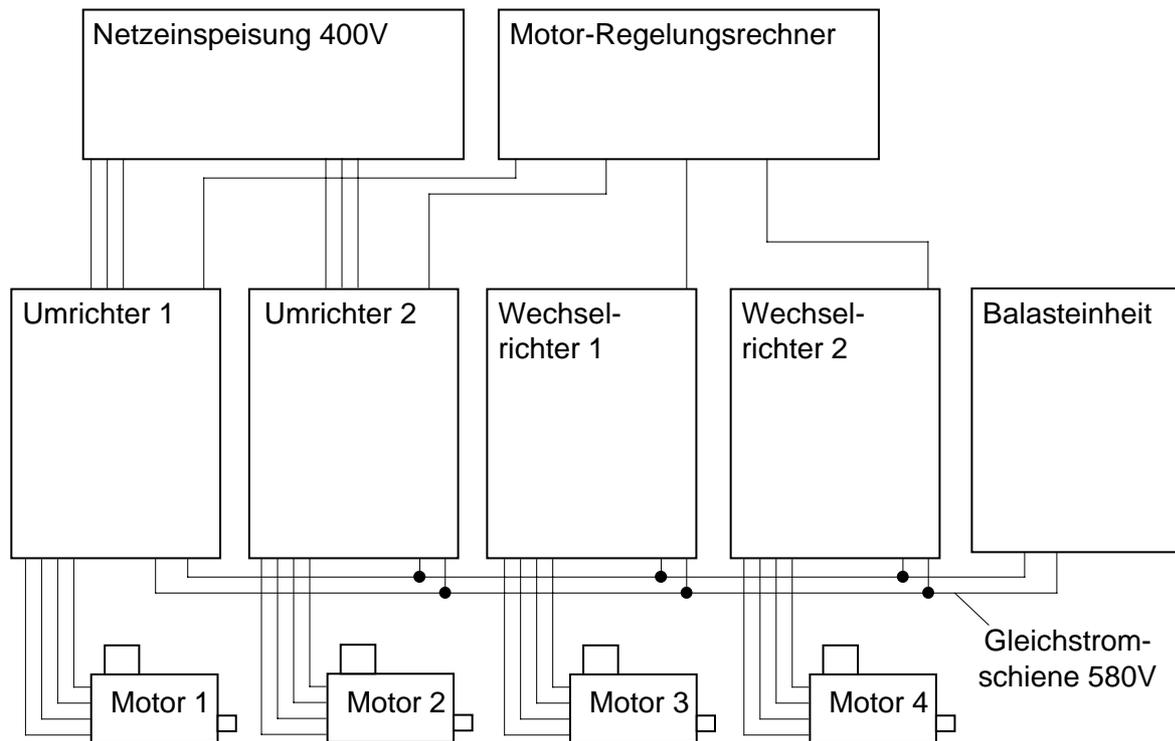


Bild 2: Elektrischer Prüfstands Aufbau

Fig. 2: Electric test-bench structure

Lediglich die Beschleunigungs- und Verlustleistung wird dem Netz entnommen. Übersteigt die Bremsleistung kurzzeitig die erforderliche Antriebsleistung wie beim Schubbetrieb, so wird die überschüssige Energie in Bremswiderständen umgesetzt. Die Drehmoment- und Drehzahlsollwerte der Umrichter werden vom Motor-Regelungsrechner in Form von analogen Spannungssignalen im Bereich von  $\pm 10\text{ V}$  übergeben, die Parametrierung erfolgt über eine RS232-Schnittstelle. Die Struktur der rechnergestützten Prüfstandsteuerung ist in den folgenden Abschnitten beschrieben.

### 3.1.3 Technische Daten des Prüfstands

Aufspannfläche:	4,5 m x 6,5 m
Max. Antriebs-Drehzahl:	3000 $\text{min}^{-1}$
bei 2 Motoren:	7000 $\text{min}^{-1}$
Max. Dauer-Antriebsleistung:	95 kW
bei 2 Motoren:	190 kW

Max. Dauer-Antriebsmoment:	300 Nm
bei 2 Motoren:	250 Nm
Max. Spitzenleistung:	120 kW
bei 2 Motoren:	240 kW
Max. Spitzen-Moment:	450 Nm
bei 2 Motoren:	320 Nm

### 3.2 Struktur der Prüfstandsregelung

Zur Regelung des Prüfstands ist ein eigener PC vorgesehen, der Motor-Regelungsrechner. Der ursprüngliche Ansatz, den Drehzahlreglern in den Umrichtern der Antriebsmaschinen den gewünschten Drehzahlverlauf in Form analoger, zeitveränderlicher Spannungssignale vorzugeben, führte nicht zum Ziel. Waren die Drehzahlregler so eingestellt, daß die Motoren die gewünschten, schnellen Drehzahländerungen durchführten, wurden die Regler instabil, sobald nennenswerte zusätzliche Trägheitsmomente durch Antriebsstrang und Bremsmaschinen angekoppelt wurden. Waren die Regler so eingestellt, daß sie nicht zum Schwingen neigten, waren sie nicht mehr imstande, die geforderten Drehschwingungen zu erzeugen. Das Problem wurde dadurch gelöst, daß die Drehzahlregelung in die PC-Software verlagert wurde, und die Umrichter als reine Leistungsverstärker betrieben werden.

Die Regelungssoftware ist als Pascal-Programm unter Borland-Pascal 7.0 und DOS 6.2 als Betriebssystem realisiert. Diese softwarebasierte Drehzahlregelung stellt einen entscheidenden Teil des Entwicklungsaufwands dar. Nur durch sie können die gewünschten dynamischen Eigenschaften realisiert werden. Die Bremsmaschinen werden in Momentenregelung betrieben. Wegen der geringen Trägheitsmomente der Maschinen ist dies in allen Betriebszuständen unkritisch. Das bei schwereren Maschinen bei schnellen Beschleunigungsfahrten unter Umständen notwendige „Wegregeln“ der Trägheitsmomente der Bremsmaschine ist hier nicht erforderlich.

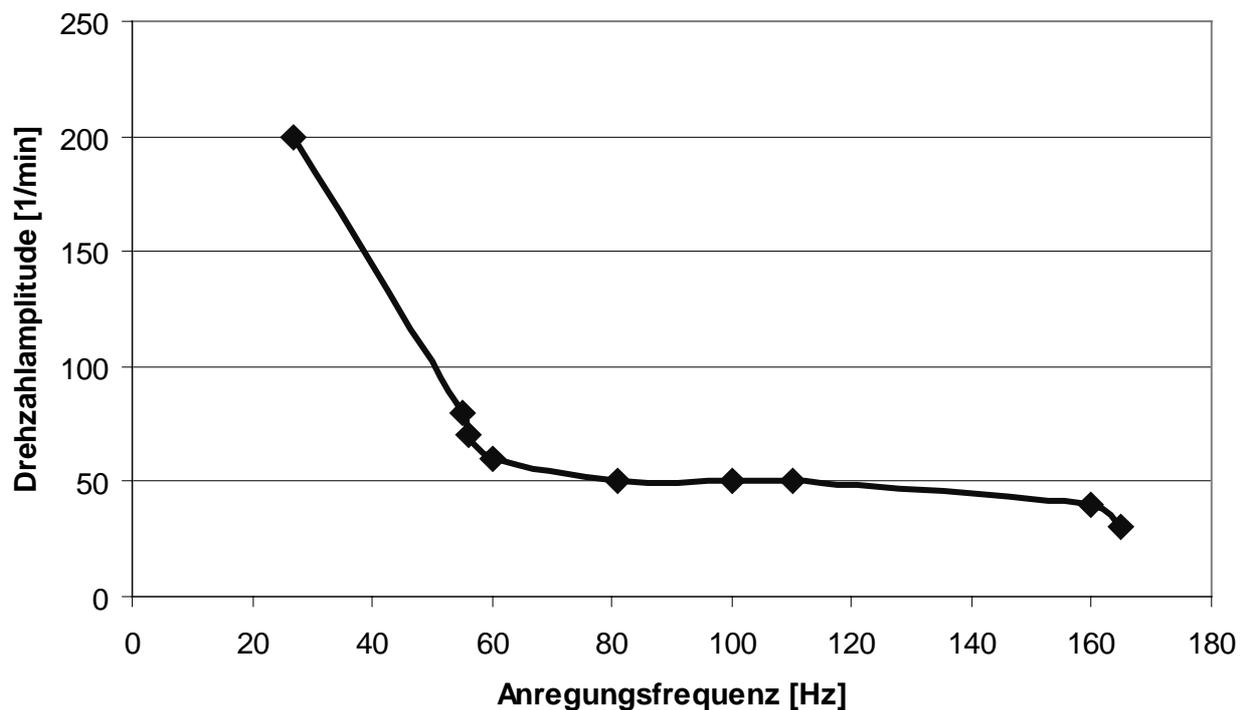


Bild 3: Maximal erreichbare Drehzahlamplitude der Antriebsmotoren abhängig von der Anregungsfrequenz.

Fig. 3: Maximum of achievable rotation speed amplitude of the drive motors depending on the excitation frequency

Bild 3 zeigt die erreichbare Drehzahl-Amplitude in Abhängigkeit von der Anregungsfrequenz. Die Kurve gilt für Motor ohne zusätzliche Massenträgheitsmomente. Dies entspricht den Verhältnissen, denen ein Verbrennungsmotor im Kraftfahrzeug ausgesetzt ist. Dort sind die Trägheitsmomente des Antriebsstrangs und des Fahrzeugs durch die Torsionsfedern der Kupplung und folgenden Bauteilen vom Motor weitgehend abgekoppelt.

### 3.3 Meßtechnische Ausstattung des Prüfstands

Bild 4 zeigt die Struktur des zur Prüfstandsteuerung und Meßdatenerfassung vorhandenen Rechnernetzes. Die Rechnerausstattung des Prüfstands besteht aus drei handelsüblichen PCs und einem Hochgeschwindigkeits-Datenaufnahmeggerät. Der Motor-Regelungsrechner ist allein zur Prüfstandsregelung vorgesehen. Er erhält seine Sollwerte

über eine serielle RS232-Schnittstelle von einem zweiten PC, dem Prüfstandsleitrechner, der die Versuchssteuerung übernimmt und die Meßdatenaufzeichnung koordiniert. Der Prüfstandsleitrechner stellt die Schnittstelle zum Bediener dar. Sowohl der Motor-Regelungsrechner als auch der Prüfstandsleitrechner führen ständig in mehreren Hierarchiestufen die notwendigen Überwachungen bezüglich Temperatur-, Drehmoment- und Drehzahlüberschreitungen durch. Daneben achten die in den Umrichtern integrierten Rechner auf die Einhaltung der Überlastgrenzen der Motoren und Umrichter selbst. Jeder Umrichter überwacht den Motorstrom, die Motortemperatur und die Umrichtertertemperatur, so daß auch bei einem völligen Versagen aller übergeordneten Rechner eine Überlastung oder Zerstörung der Antriebe unmöglich und ein geordnetes Herunterfahren der Anlage im Schadensfall gewährleistet ist.

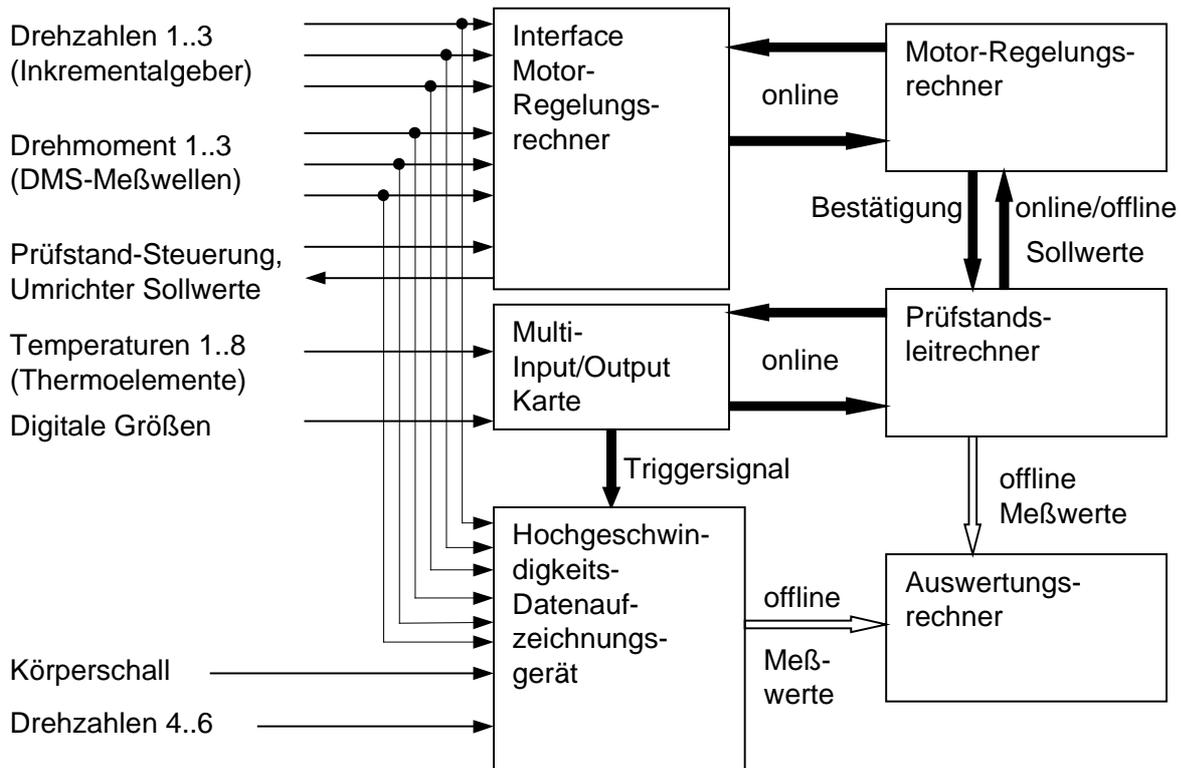


Bild 4: Derzeitige meßtechnische Ausstattung und Steuerung des Prüfstands.

Fig. 4: Current measurement instrumentation and control structure of the test-bench

Man erkennt die Schnittstelle des Motor-Regelungsrechners, die des Prüfstandsleitrechners der zur Versuchsablaufsteuerung dient und das Hochgeschwindigkeits-Datenaufnahmegerät mit Meßdatenaufzeichnungs- und Analyserechner. Neben hochdynamischen Drehzahl- und Drehmomentmessungen sind Meßeinrichtungen zur

Temperaturmessung, Körperschallmessung sowie zur Messung von Schallintensität und Schalleistung vorhanden. Da auch die Meßeinrichtungen modular ausgeführt sind, ist eine Erweiterung nahezu beliebig möglich. Durch das Mehr-Rechner-Konzept und die damit realisierte Aufgabenverteilung sind auch bei der Datenerfassung vorläufig kaum Grenzen gesetzt. Teilweise werden die Meßsignale, wie z.B. die Antriebsdrehzahl, von allen drei Rechnern verwendet, der Hauptanteil der Meßsignale wird aber nur für die Versuchsauswertung benötigt und aufgezeichnet, wie z.B. der Körperschall. In Bild 5 ist die Meßwarte des Antriebsbaugruppenprüfstands mit der beschriebenen Ausstattung gezeigt.



Bild 5: Meßwarte des Antriebsbaugruppenprüfstands

Fig. 5: Measurement and control room of the test-bench

### 3.3.1 Drehzahlmessung

Zur Drehzahlmessung können entweder optisch arbeitende Inkrementaldrehgeber oder induktive Sensoren eingesetzt werden, die ein vorhandenes oder zusätzlich angebrachtes Zahnrad antasten. Das Ausgangssignal der zur Prüfstandsregelung benutzten Sensoren wird einerseits zur Messung des momentanen Rotor-Drehwinkels benutzt und andererseits in sehr schnellen, digital rechnenden Frequenz-Spannungswandlern in ein drehzahlproportionales Spannungssignal zwischen 0 und 10 Volt umgeformt und über 12-bit A/D-Wandlerkanäle in den Motor-Regelungsrechner eingelesen. Der maximale Fehler beträgt 0,1%.

Weitere Drehzahlsignale, die nur zur Versuchsauswertung benötigt werden, werden ausschließlich dem Hochgeschwindigkeits-Datenaufnahmegerät zugeführt, aufgezeichnet und nach Versuchsende am Auswertungsrechner aufbereitet. Dieses System bietet eine Vielzahl von Meß- und Auswertemöglichkeiten [6].

### 3.3.2 Drehmomentmessung

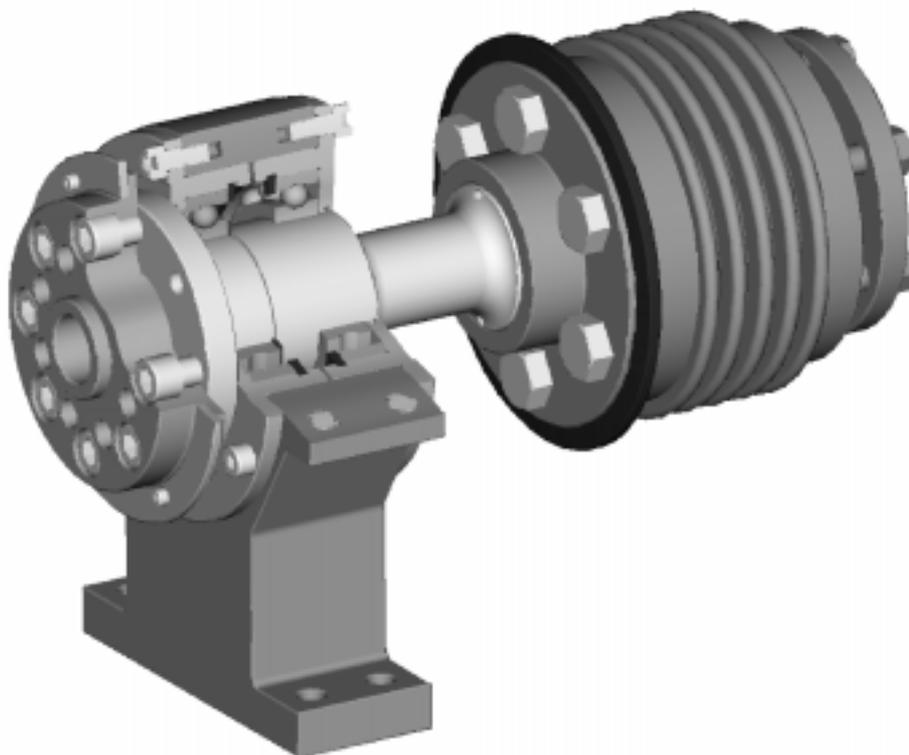


Bild 6: Drehmomentmeßwelle mit Rillenkugellager und Lagerbock

Fig. 6: Torque measurement shaft with ball bearings and bearing pedestal

Die Drehmomentmessung basiert auf selbst entwickelten DMS-Meßwellen. Eine Eigenentwicklung war notwendig, weil eine möglichst hohe Steifigkeit bei maximaler Empfindlichkeit und Genauigkeit erforderlich war. Außerdem konnte auf diesem Wege Bauraum eingespart werden. Bild 6 zeigt eine Drehmomentmeßwelle mit Lagerbock und Rollbalgkupplung.

Die Verstärkung der Ausgangssignale der DMS-Brücken erfolgt in einem in der Hohlwelle mitrotierenden Verstärker. Zur Übertragung nach außen wird ein handelsübliches Telemetrie-System eingesetzt. Die Meßwellen werden mit Hilfe einer speziellen Kalibriereinrichtung, die die Aufbringung definierter Drehmomente bis zu 2000 Nm erlaubt, kalibriert und haben einen maximalen Fehler von unter 0,1%. Bild 7 zeigt eine typische Fehlerkurve einer Meßwelle.

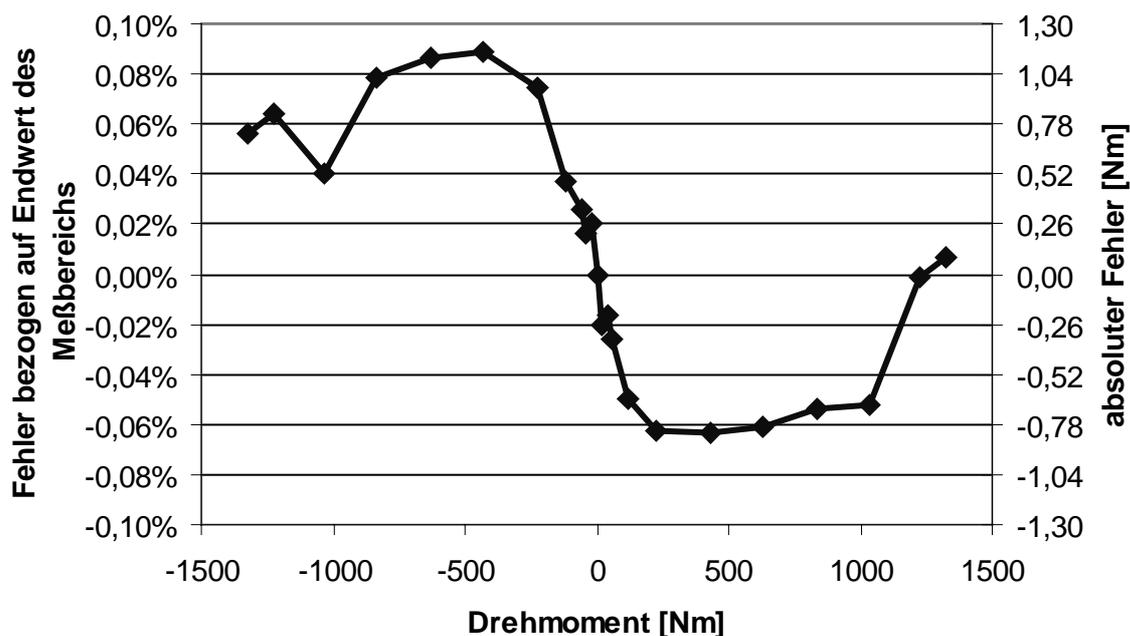


Bild 7: Fehlerkurve einer Drehmomentmeßwelle der Genauigkeitsklasse 0,1

Fig. 7: Measuring error of a torque-measurement-shaft, accuracy class 0.1

Zur Zeit stehen Meßwellen mit Nennmomenten von 300 Nm, 600 Nm und 1500 Nm zur Verfügung, andere können jederzeit hergestellt werden. Alle antriebs- und bremsseitigen Meßwellen haben die gleichen Anschlußmaße und sind beliebig gegeneinander austauschbar. Auch hier wurde der Baukasten-Philosophie des Prüfstands Rechnung

getragen. Die Torsionssteifigkeit der antriebsseitigen Meßwellen beträgt 220 kNm. Bei Nennmoment beträgt die maximale Vergleichsspannung 112 N/mm<sup>2</sup>. Eine Überlastung von bis zu 500%, die sich bei einer solchen Prüfanlage z.B. bei Fehlbedienung oder durch Softwarefehler während der Entwicklung ergeben können, wird von den Meßwellen problemlos, und nachgewiesenermaßen ohne Defekt, überstanden.

#### 4. Versuchssteuerung

Die Software zur Versuchssteuerung basiert auf dem Programmpaket LabVIEW<sup>®</sup> der Firma National Instruments, Version 5.0. Der Prüfstandsleitreechner, der für die Versuchssteuerung zuständig ist, übergibt die aktuellen Sollwerte wie mittlere Drehzahl, Drehzahlamplitude, Bremsmomente etc. an den Motor-Regelungsrechner und führt gleichzeitig einen Teil der Meßdatenerfassung durch. Hierzu ist er mit einer Einsteckkarte mit acht A/D-Wandlerkanälen und 24 Digitalen Kanälen ausgerüstet. Ebenfalls übernimmt der Prüfstandsleitreechner die Triggerung des Hochgeschwindigkeits-Datenaufnahmegeräts. Die Sollwertverläufe können entweder in einer Tabelle abgelegt sein oder interaktiv vom Bediener per Mausklick vorgegeben werden. Bild 8 zeigt die Bedienoberfläche eines Teilprogramms zur Versuchssteuerung.

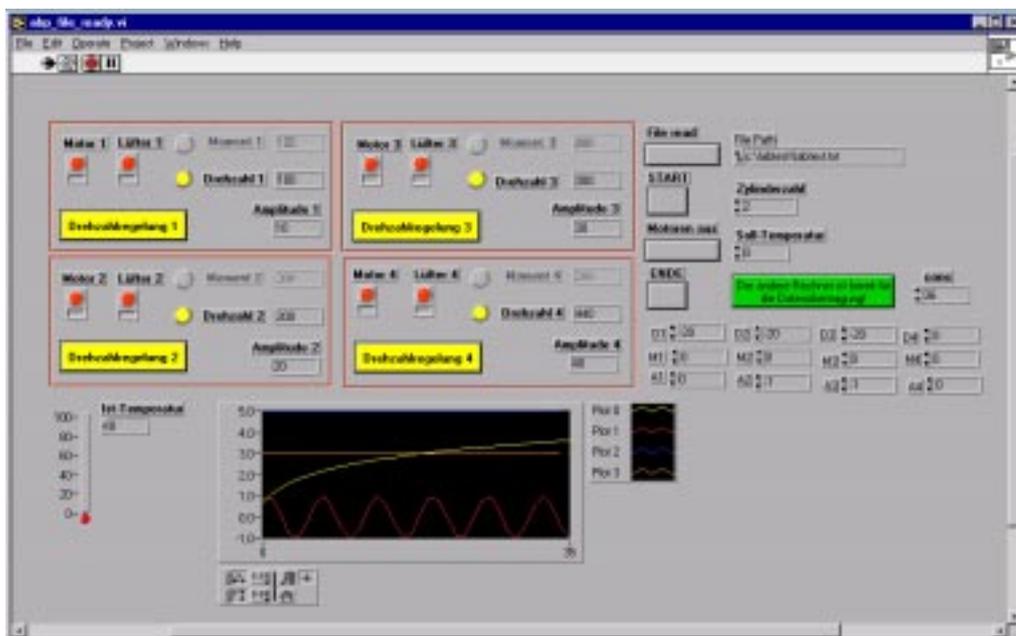


Bild 8: Bedienoberfläche des LabVIEW<sup>®</sup> Programms zur Versuchssteuerung

Fig. 8: User control panel of the LabVIEW<sup>®</sup> trial Program

## 5. Erste Meßergebnisse

An einem als Getriebeversuch realisierten Versuchsaufbau sollen exemplarisch die dynamischen Fähigkeiten des Prüfstandes dargestellt werden. Bild 9 zeigt den Versuchsaufbau mit einem zwischen Antriebs- und Bremsmotor verspannten Handschaltgetriebe.

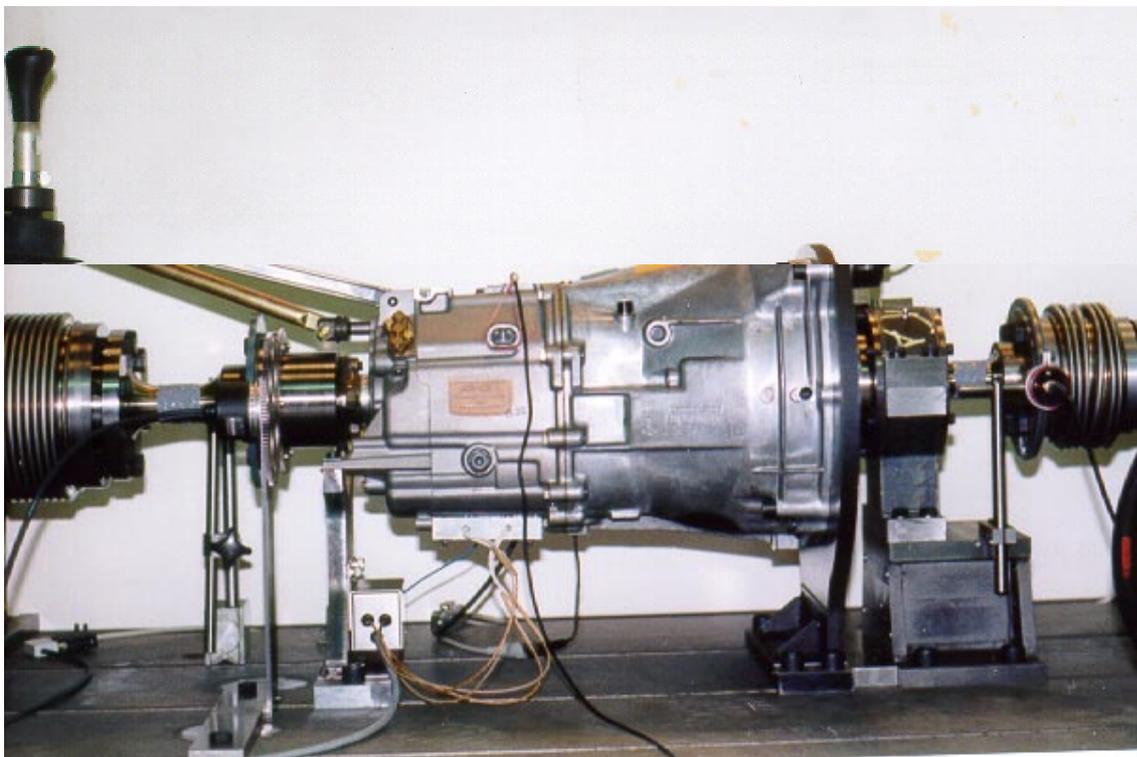


Bild 9: Getriebeversuch auf dem Universal-Antriebsbaugruppenprüfstand

Fig. 9: Gear trial set-up on the universal Powertrain Testbench

Zunächst wird eine Drehzahlrampe mit einer Getriebeeingangsdrehzahl von  $800 \text{ min}^{-1}$  bis  $2500 \text{ min}^{-1}$  und wieder zurück zu  $800 \text{ min}^{-1}$  simuliert. Dabei wird über die gesamte Versuchsdauer ein in 6. Motorordnung schwankendes Antriebsmoment vorgegeben. Die gemessenen Drehzahlverläufe am Getriebeeingang und -ausgang sind in Bild 9 über der Zeit dargestellt.

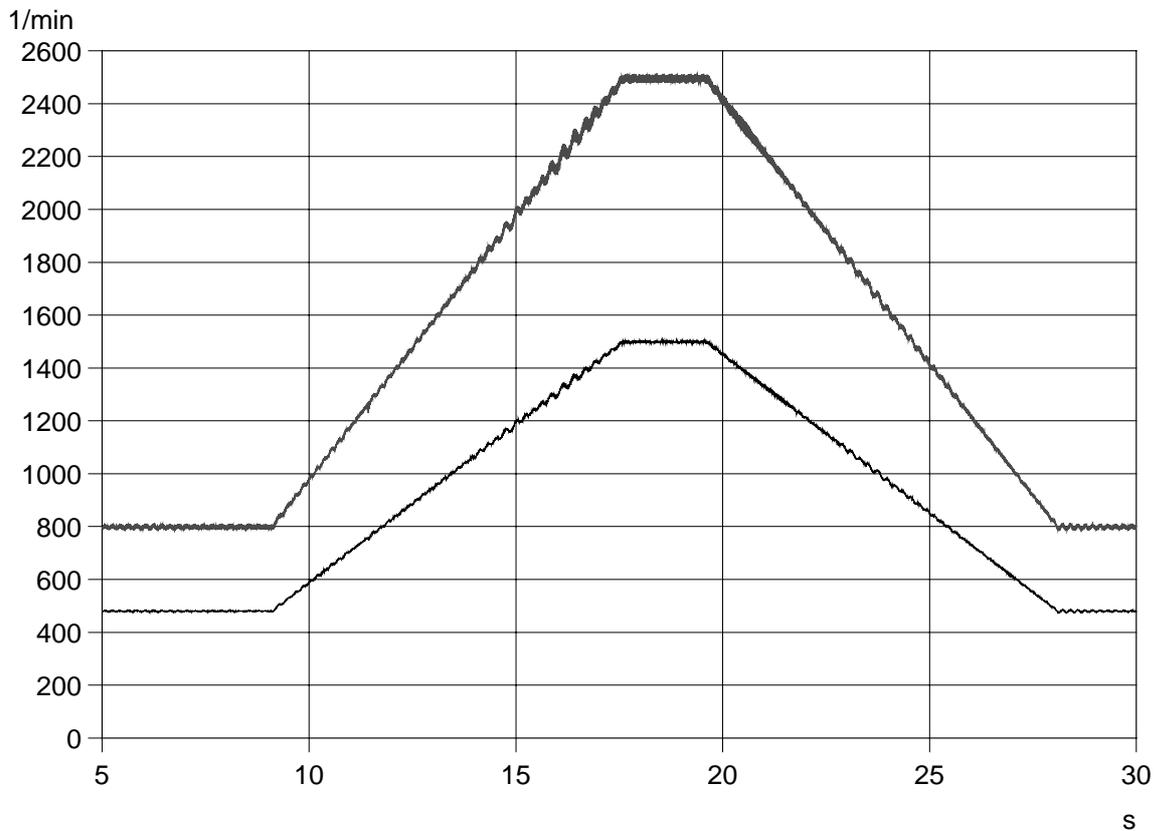


Bild 10: Drehzahlverläufe am Getriebeeingang und -ausgang über der Zeit  
 Fig. 10: Rotation speed of gearbox input and output during plotted over time

Eine Ordnungsanalyse der Drehzahl ergibt die in Bild 11 dargestellte Verteilung. Vorgabe war eine drehzahlunabhängige Schwingungsamplitude von  $10 \text{ min}^{-1}$ . Die vorgegebene Anregung in 6. Motorordnung wird durch die Fourieranalyse bestätigt.

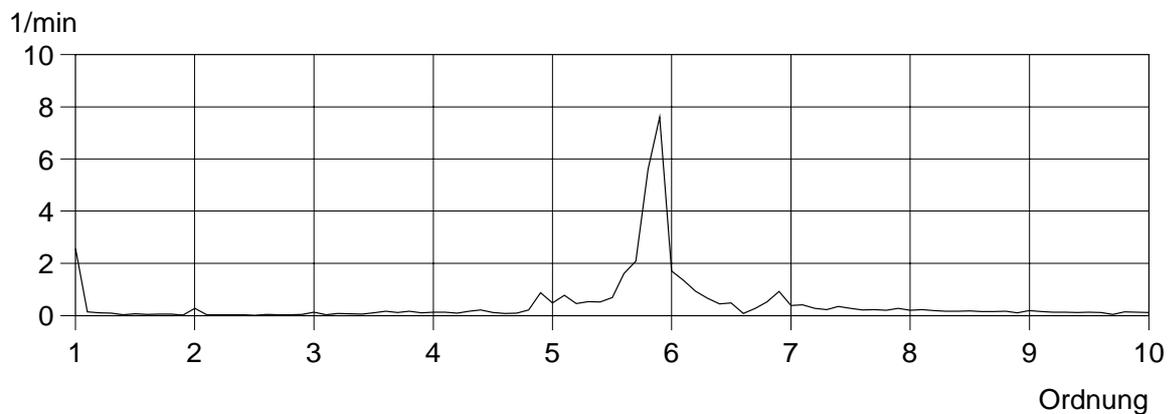


Bild 11: Ordnungsanalyse des Drehzahlverlaufs am Getriebeeingang  
 Fig. 11: Ordinal analysis of the speed at the gearbox input

Zur Verdeutlichung der Drehzahlensignale sind in Bild 12 und 13 Zoomdarstellungen der Drehzahl- und Drehmomentverläufe von 18 s bis 18.05 s angegeben. In Bild 12 ist die stärker schwankende Kurve die Eingangsdrehzahl und auf der rechten Ordinate angegeben und soll laut Vorgabe im Mittel  $2500 \text{ min}^{-1}$  betragen. Die Anregungsfrequenz liegt bei dieser Konfiguration bei 250 Hz. Die Ausgangsdrehzahl beträgt entsprechend des Übersetzungsverhältnisses im gewählten dritten Gang  $1500 \text{ min}^{-1}$  und zeigt deutlich das Übertragungsverhalten des Getriebes im gewählten Betriebspunkt.

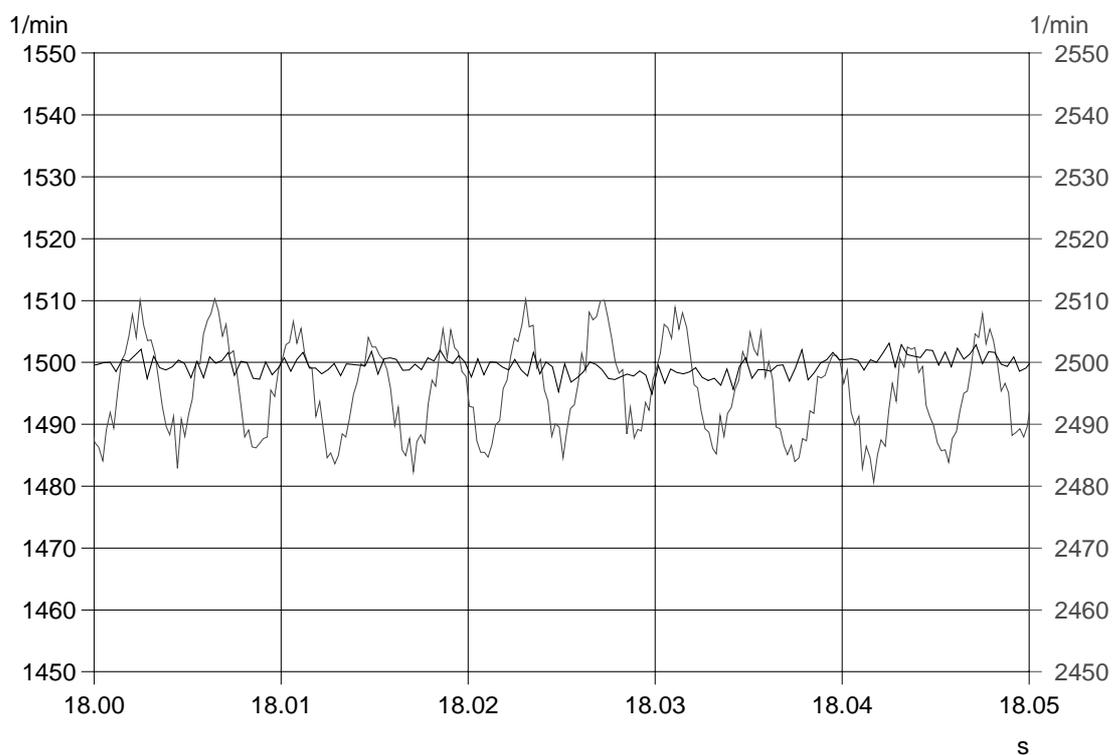


Bild 12: Drehzahlverläufe am Getriebeein- und Ausgang über der Zeit

Fig. 12: Rotation speed of gearbox input and output plotted over time

In Bild 13 ist der Verlauf der Drehmomente vor und nach dem Getriebe dargestellt. Die Drehmomentmessung zeigt deutlich die Anregungsfrequenz von 250 Hz in beiden gemessenen Signalen. Aufgrund der Übersetzung differieren die Mittelwerte der Drehmomente.

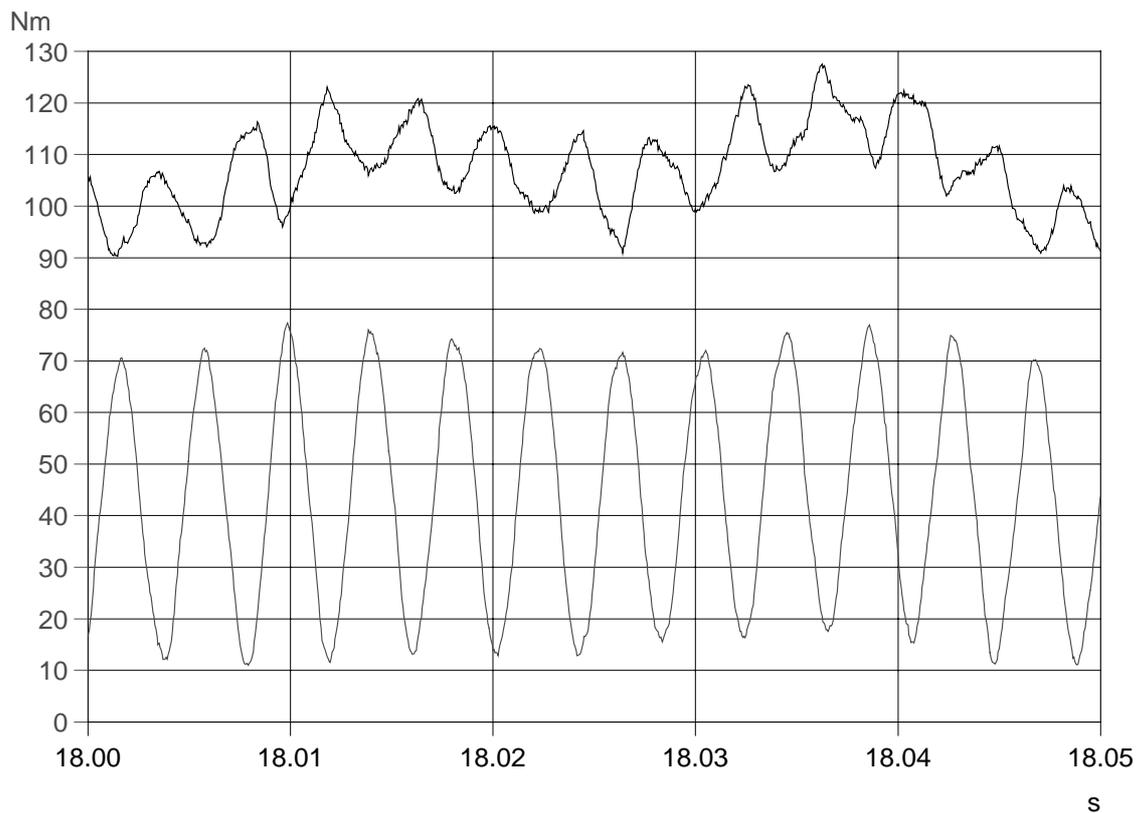


Bild 13: Drehmomentverläufe am Getriebeeingang und -ausgang über der Zeit

Fig. 13: Torque of gearbox input and output plotted over time

Betrachtet man die in Bild 14 dargestellten Drehmomentverläufe im Zeitraum von 6.55 s bis 6.6 s so gibt die Messung am Getriebeausgang deutlich die Anregungsfrequenz von 80 Hz und Periodendauer 0.0125 s wieder. Das am Getriebeeingang gemessene Drehmoment wird durch die geglättete Kurve des eingangsseitigen Drehmoments ergänzt. Im geglätteten Kurvenverlauf läßt sich die Anregungsfrequenz erkennen. Das rohe Meßsignal zeigt deutlich überlagerte Schwingungen in einer Frequenz von ca. 950 Hz, die auf eine Systemeigenfrequenz dieses Aufbaus zurückzuführen sind.

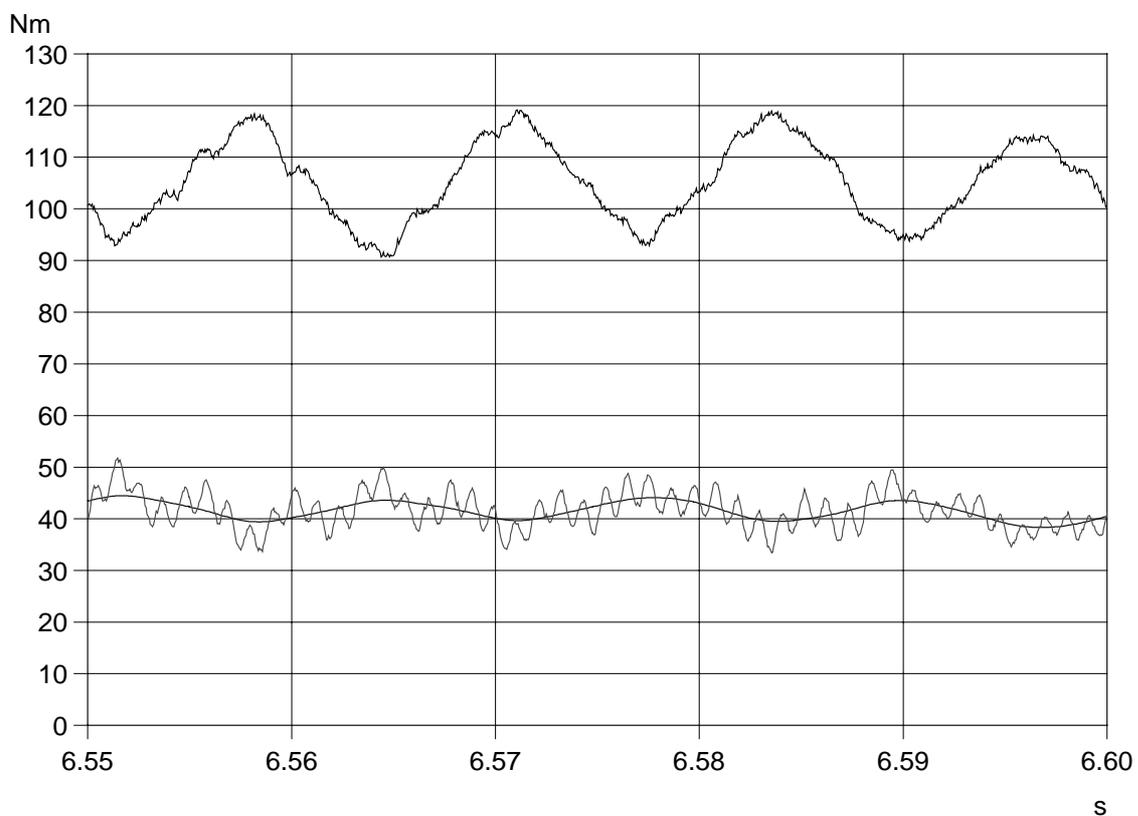


Bild 14: Drehmomentverläufe am Getriebeeingang und -ausgang sowie gemitteltes Eingangsmoment über der Zeit

Fig. 14: Torque of gearbox input, output and average gearbox input plotted over time

## 6. Ausblick

Der durchgeführte Aufbau eines gesamten Heckantrieb-Antriebsstrangs für Frontmotor soll zur Simulation aller möglicher Fahrsituationen ausgebaut werden. Besonders Kupplungsvorgänge stellen hierbei eine Herausforderung dar. Zukünftige Weiterentwicklungen des Prüfstandes sind die Komplettierung des Baukastensystems für verschiedene Aufbauvarianten sowie eine akustische Isolierung der Antriebe und des Prüfraums.

Das derzeitige Prüfstandskonzept läßt Prüfverfahren mit vordefiniertem Versuchsablauf zu. In einer folgenden Entwicklungsstufe soll der Prüfstand für Hardware-in-the-Loop-Simulation ausgebaut werden. Weiter sollen informationstechnische Schnittstellen berücksichtigt und die Kommunikation über den CAN-Bus eingebunden werden. Dies soll die isolierte Prüfung automatischer und automatisierter Antriebskomponenten ermöglichen.

## 7. Literatur

- [1] SINN, W.: Drehschwingungssimulation. Fortschrittberichte VDI, Reihe 11, Schwingungstechnik Nr. 179, 1993
- [2] SCHWIBINGER, P.; WIECHERT, M.: Prüfstand für einen Torsionsschwingungstilger. Europäische Patentanmeldung 0 429 785 A2, 1990
- [3] Fleischhauer, Th.; von Klitzing, W.; Schwarz, G.; Zuber-Goos, F.: Verbrennungsmotorsimulation an elektromotorisch betriebenen Getriebeprüfständen, VDI Berichte Nr. 1189, S. 35 – 54, 1995
- [4] WEIDNER, G.: Klappern und Rasseln von Fahrzeuggetrieben. Dissertation Universität Stuttgart, 1991
- [5] LANG, C.-H.: Losteilgeräusche von Fahrzeuggetrieben. Dissertation Universität Stuttgart, 1996
- [6] ATLAS FAHRZEUGTECHNIK: Tornado - The Automotive High Speed Datalogger by A F T. User Manual, Werdohl 1998