

Simulationssystem zur Optimierung des Antriebsstrangs unter Einbeziehung des Verkehrsflusses

Teil 2: Ein Simulationsmodell für den Antriebsstrang

Zur Beurteilung und Entwicklung von Antriebssträngen in Kraftfahrzeugen wurde das Simulationsprogramm EVA (EDV-Programme zur Verbrauchs-, Fahrleistungs- und Lebensdauer-Analyse) am Steinbeis-Transferzentrum „Neue Technologien in der Verkehrstechnik“ entwickelt. Umfangreiche Vergleiche von Rechnungen und Messungen zeigten, daß brauchbare Aussagen erhalten werden, wenn eine geeignete Vorgabe für den Geschwindigkeitszyklus erfolgt. Das System wird seit 1984 zur Entwicklung von Antriebssträngen von Nutzfahrzeugen und Omnibussen mit Automatikgetrieben, stufenlosen Getrieben und handgeschalteten Getrieben eingesetzt und seitdem ständig weiterentwickelt. Um die Vorgabe eines Geschwindigkeitszyklusses überflüssig zu machen, wurde ein Verkehrsmodell entwickelt, das die notwendigen Geschwindigkeitsverläufe liefert. Dieses wurde in Teil 1 vorgestellt. Eine Kopplung beider Modelle ergibt ein durchgängiges Simulationssystem, das auch den Verkehrseinfluß berücksichtigt. In welcher Form die Simulation zur Unterstützung der technischen Beratung bei einer Getriebefirma eingesetzt wird, zeigt eine spätere Veröffentlichung in der ATZ.

Von Günter Willmerding

1 Einleitung

Die Computersimulation hat sich als eine wichtige Hilfe bei der Optimierung von Antriebssträngen etabliert. So lassen sich bei gegebenem Fahrzyklus brauchbare Vorhersagen des Kraftstoffverbrauchs erzielen. Außerdem sind Trendaussagen für die Lastkollektive zu erhalten und damit Lebensdauerabschätzungen vorzunehmen. Nicht zu vergessen sind auch Aussagen über die Bremssysteme, deren Beanspruchung besonders beim Nutzfahrzeug von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit ist.

Die zeit- und kostengünstige Möglichkeit eine große Zahl von Varianten in kurzer Zeit zu berechnen erlaubt es, den Fahrversuch gezielter und dadurch im Umfang reduzierter durchzuführen.

Ein sehr wichtiger Aspekt der Computersimulation ist auch, daß neuartige Antriebsstrangkonzeppte in einem frühen Entwicklungsstadium bereits analysiert und beurteilt werden müssen. Angesichts der vielen Möglichkeiten alternativer Antriebsstrang-Konzeppte ist die Begrenzung auf wenige, aussichtsreiche Varianten selbst für große Unternehmen der Automobilindustrie eine ökonomische Notwendigkeit.

Eine sinnvolle Vorgehensweise bei dem Einsatz von Simulationsprogrammen ist zunächst die Vorgabe von Fahrzyklen, die etwa durch Messung erhalten wurden. Dies wurde soweit perfektioniert, daß ein Meßwerterfassungs-System die Zyklusdaten in kompatibler Form erfaßt. Eine Meßfahrt kann ohne Zeitverlust sofort „nachsimuliert“ werden [12].

Die Verwendbarkeit eines gemessenen Fahrzyklus ist jedoch nur dann zulässig,

wenn das zu simulierende Fahrzeug ähnliche Eigenschaften hat wie das Meßfahrzeug.

Soll der Einfluß von Fahrer und Verkehr umfassender berücksichtigt werden, so muß das Simulationsmodell für das Fahrzeug mit einem Fahrermodell und einem Verkehrsmodell gekoppelt werden. Ein derart integriertes Modell wird hier vorgestellt.

2 Ablauf der Simulation

Bei der Simulation wird die Fahrt eines Fahrzeugs auf einer in Längsrichtung geneigten Fahrbahn beschrieben, **Bild 1**. Dabei werden aus dem Kräftegleichgewicht in Längsrichtung alle interessierenden Größen im Triebstrang (Drehzahlen, Drehmomente) berechnet. Mit dem Betriebspunkt im Motorkennfeld kann der Verbrauch ermittelt werden. Zur Lösung der Gleichungen wird eine Einteilung des Weges in kleine Wegintervalle vorgenommen, die so gewählt werden, daß eine vorgebbare Drehzahländerung des Motors nicht überschritten wird. Bei Bedarf können auch instationäre Betriebsbedingungen des Motors mit Modellgesetzen beschrieben werden.

Drehschwingungen können optional berechnet werden. Dazu wird die quasistationäre Lösung als Basis verwendet. Hinzu kommt der sich aus dem Drehkraftverlauf der Kolbenmaschine ergebende zusätzliche Schwingungsanteil als

Teil 1 in
ATZ 5/1992,
Seite 286 bis 291

Anregung für den Antriebsstrang. Durch Superposition beider Lösungen erhält man die Gesamtlösung. Eine Schwingungsrechnung erfordert somit einen zweiten Rechenlauf, der sich allerdings fast immer auf Teilbereiche der Strecke beschränkt, die anhand der Ergebnisse der quasistationären Lösung ausgewählt werden können.

2.1 Simulationsarten

2.1.1 Pilotfahrt:

Durch Messung an einem realen Fahrzeug wird der Geschwindigkeitsverlauf ermittelt und mit einem identischen Computerfahrzeug nachsimuliert. Ein ideales Computermodell würde eine Übereinstimmung der Ergebnisse von Rechnung und Messung liefern. Diese Simulationsart, als Pilotfahrt bezeichnet, wurde insbesondere zur Überprüfung des Simulationsmodells am Anfang praktiziert. Nachteil dieser Simulation ist, daß das Nachfahren eines gemessenen Geschwindigkeitsverlaufs nur mit einem annähernd gleich motorisierten Automobil sinnvoll ist.

2.1.2 Fahrermodell mit Wunschgeschwindigkeitsverlauf:

Es wird ein Wunschgeschwindigkeitsverlauf vorgegeben, den ein Fahrermodell durch eine geeignete Strategie zu erreichen versucht. Dieser Wunschgeschwindigkeitsverlauf kann aus den gemessenen Daten eines Ist-Geschwindigkeitsverlaufs ermittelt werden. Dies hat den Vorteil, daß Fahrzeuge mit sehr unterschiedlicher Fahrleistung auch unterschiedliche Fahrzeiten haben. Diese Modellart hat wesentliche Vorteile im Vergleich zu der Pilotfahrt. Der Verkehrseinfluß wird hierbei jedoch nur durch den fest vorgegebenen Wunschgeschwindigkeitsverlauf berücksichtigt.

2.1.3 Simulation des Fahrzeugs im Verkehr:

Diese Simulationsart kommt der Wirklichkeit – realistische Eingabedaten vorausgesetzt – am nächsten, bezieht das Verkehrsgeschehen mit ein, wobei bisher die Fahrt auf einer maximal fünfspurigen Autobahnen modelliert ist. Diese Simulationsart ist insbesondere als Ergänzung und Extremwertabschätzung für unterschiedliche Verkehrsdichten hilfreich.

2.2 Elemente des Simulationssystems

Das Simulationssystem und die funktionalen Zusammenhänge sind schematisch in **Tafel 1** dargestellt. Es weist folgende Elemente auf:

– Ein Meßwerterfassungssystem, mit dem umfangreiche Daten des Antriebsstrangs mit hoher Abtastrate erfaßt werden. Eine Datenerfassung auf diese Weise ist vergleichsweise teuer und wurde daher auf Grundsatzversu-

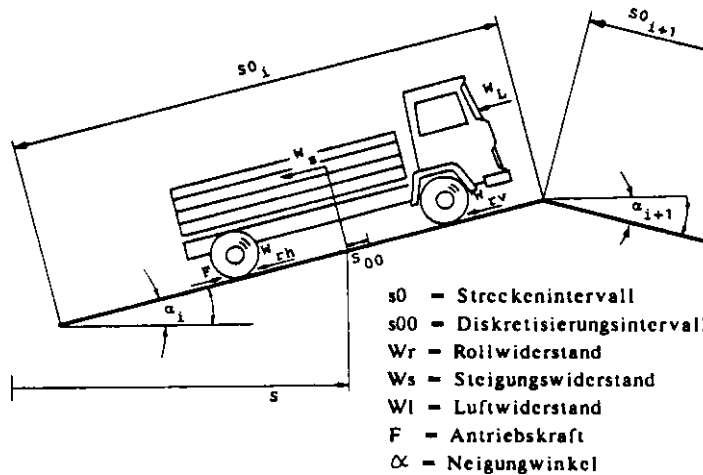


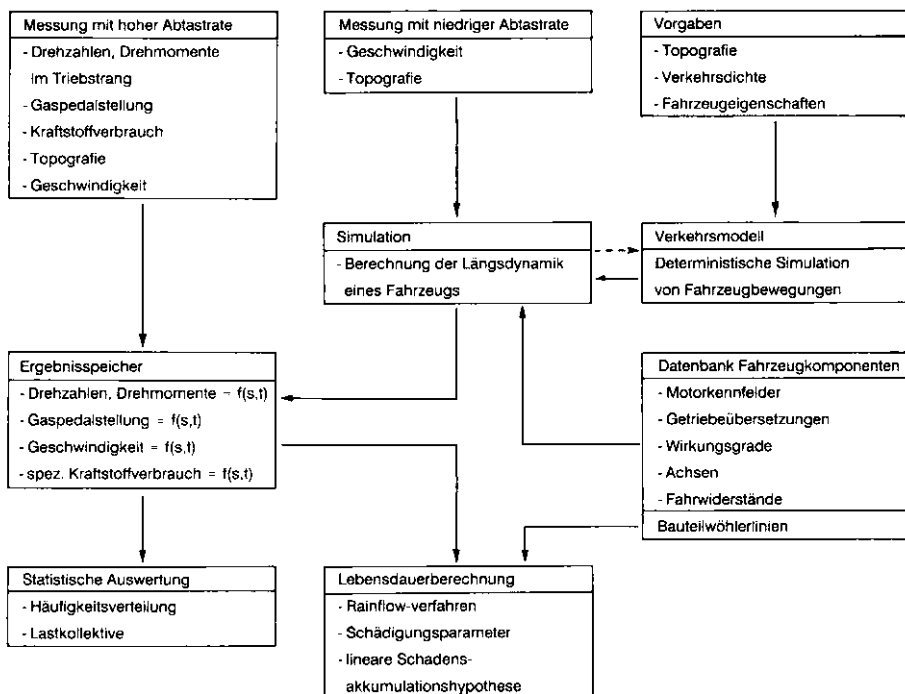
Bild 1: Fahrzeugmodell auf der Fahrbahn

Fig. 1: Computer variations of a given model

- s0 = Streckenintervall
- s00 = Diskretisierungsintervall
- Wr = Rollwiderstand
- Ws = Steigungswiderstand
- Wl = Luftwiderstand
- F = Antriebskraft
- α = Neigungswinkel

Tafel 1: Elemente des Simulationssystems

Table 1: Elements of simulation-system



A Simulation System to Optimize The Drive-Line – Part 2: The Model for the Drive-Line

by Günter Willmerding

Computer-programms for the design of power-trains have been developed since 1984 by the "Steinbeis-centre New Technologies in the field of traffic". Computer simulations have shown that you can receive realistic information about fuel consumption, road performance and assumed lifetime of driveline components.

First, however, you need given data concerning speed cycles which normally are measured. To avoid the expensive measurement of speed-cycles the Fachhochschule Ulm have designed a traffic model that can be used in combination with simulation models to predict the fuel consumption and lifetime of components. Part 1 reports about the traffic-model, part 2 about the simulation-model.

- che – insbesondere für Lebensdaueruntersuchungen – beschränkt.
- Ein einfaches Meßwerterfassungssystem, das mit einer niedrigen Abtastrate nur die Fahrgeschwindigkeit und die Topografie aufzeichnet. Es ist für Langzeitaufzeichnungen geeignet.
 - Ein Computerprogramm zur Simulation der Längsdynamik, das bei Vorgabe von Geschwindigkeitszyklus und Topografie im Triebstrang auftretende Größen berechnen kann.
 - Ein Computerprogramm zur Simulation des Verkehrs auf Autobahnen, das mit der Längsdynamiksimulation gekoppelt werden kann.
 - Programme zur Analyse der Ergebnisdaten zur grafischen Darstellung.
 - Programme zur Berechnung der Lebensdauer.

Ziel dieses Systems sind zuverlässige Vorhersagen von Fahrleistung, Kraftstoffverbrauch und eine Abschätzung der Lebensdauer unter Berücksichtigung des Verkehrseinflusses.

2.2.1 Meßwerterfassungssystem für unterschiedliche Einsatzbedingungen

Am Anfang der Arbeiten wurde die Notwendigkeit gesehen, möglichst viele Strecken und Einsatzfälle meßtechnisch zu erfassen. Dazu wurde ein Meßwerterfassungssystem entwickelt, das folgende Meßgrößen berücksichtigt:

- Längsneigung der Fahrbahn (Topografie), woraus durch Integration über den Weg das Höhenprofil ermittelt wird
- Fahrgeschwindigkeit
- Lenkwinkel, woraus die Krümmung der Bahnkurve berechnet wird
- Kraftstoffverbrauch.

Das System wurde auf der Basis eines leistungsfähigen Rechners konzipiert, der die Daten im Fahrzeug erfaßt, überwacht und speichert. Weiterhin wurden einfach zu installierende oder vorhandene Aufnehmer verwendet, so daß es innerhalb kurzer Zeit in ein Fahrzeug eingebaut werden kann. Abweichend von bisher vorgeschlagenen Meßverfahren

ren der Längsneigung mit Kreiselsystemen [7] oder auf barometrischer Basis [5] wurde ein Inclinometer (Präzisionspendel mit einer Schwingebene) verwendet, das eine Winkelmessung zur Vertikalen des Fahrzeugs ermöglicht. Die Winkelausschläge aufgrund der Brems- und Anfahrvorgänge des Fahrzeugs werden durch Ermittlung der Längsbeschleunigung in Echtzeit korrigiert. Erfahrungen über einen Zeitraum von fünf Jahren im Industrieinsatz für Lkw und Stadtbusse zeigen, daß das Meßverfahren zuverlässig funktioniert. Zur Prüfung des Meßfehlers wurden bekannte Topografien mehrfach nachfahren und die Ergebnisse verglichen.

2.2.2 Fahrzeugmodell

Die Beschreibung des Fahrzeugmodells kann kurz gehalten werden, da bereits ähnliche Modelle beschrieben wurden und die Vorgehensweise ähnlich ist. Der Antriebsstrang besteht aus Motor, Kuppelung oder hydrodynamischem Wandler, Primärretarder, mechanischem Getriebe mit bis zu 20 Gängen oder aber stufenlosem Getriebe, Sekundärretarder, Verteilergetriebe mit bis zu drei Gängen, Gelenkwellen zu den Achsen, Differentialen an Vorder- und Hinterachse, den Halbwellen und den Radnabengetrieben. Durch entsprechende Parameter können etwa ein Pkw mit Vier-Gang-Schaltgetriebe, ein allradgetriebenes Nutzfahrzeug mit 20 Gängen und Retarder oder auch ein Fahrzeug mit stufenlosem Getriebe dargestellt werden.

Auch Nebenverbraucher mit entsprechenden Übersetzungen werden berücksichtigt, da diese für den Kraftstoffverbrauch dann bedeutsam sind, wenn nicht nur Trendaussagen, sondern Absolutwerte vorhergesagt werden sollen.

Weiterhin wichtig ist die korrekte Beschreibung der Wirkungsgrade oder der Verlustmomente der einzelnen Komponenten des Antriebsstrangs. Das Programm kann mit last- und drehzahlabhängigen Verlustmomenten oder Wirkungsgraden arbeiten.

Die Wirkungsgrade oder Verlustmomente und auch das Verbrauchskennfeld des Motors werden als Matrizen gespeichert. Kennlinien des Motors (Vollast-, Schlepp-, Bremsmomente), Momentenverläufe der Retarder, Kennlinien der hydrodynamischen Bauelemente im Getriebe, Verlustmomente der Nebenverbraucher werden durch Tabellen beschrieben.

Frühere Programmversionen arbeiteten mit Regressionsfunktionen auf der Basis von Polynomen, was zu einem deutlich geringeren Bedarf an Speicherplatz führte. Die Entwicklung der EDV-Hardwarekosten ließ jedoch diese Überlegung angesichts der Gefahr der Oszillation bei ungünstig gewählten Stützpunkten in den Hintergrund treten.

Bei Einsatz von hydrodynamischen Wandlern können alle auf dem Markt befindlichen Bauarten berücksichtigt werden. Es können Getriebe mit Leistungsverzweigung, Beispiele hierfür sind Voith, Renk, Scania, als auch hydrodynamische Getriebe in konventioneller Bauart, Beispiele hierfür sind Allison, ZF, berechnet werden.

Die Schaltpunkte des Automatikgetriebes werden last- und drehzahlabhängig festgelegt. Eine beschleunigungsabhängige Schaltung ist ebenfalls möglich.

Bei mechanischen Getrieben werden keine Schaltpunkte festgelegt, sondern es wird ein Fahrermodell verwendet, das im Kapitel 2.3 beschrieben wird.

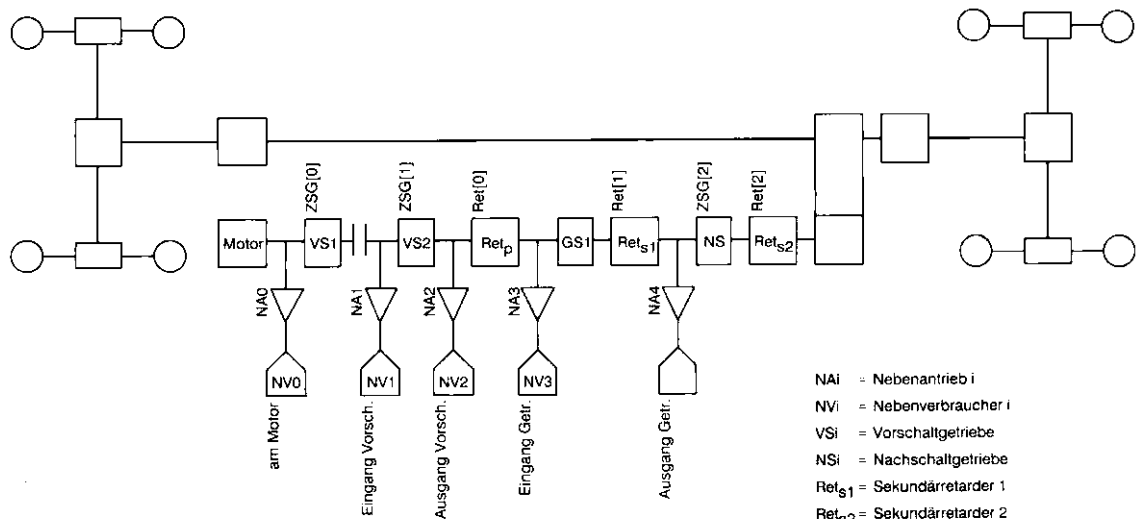
Als Beispiel für ein stufenloses Getriebe ist das SHL-Getriebe [6] und ein System auf der Basis von Elektroantrieben integriert.

Jeder Komponente des Antriebsstranges wird eine Drehfedersteifigkeit und ein Massenträgheitsmoment zugeordnet. Der innere Aufbau zum Beispiel eines Getriebes bleibt dabei unberücksichtigt.

Die Eigenschaften der Reifen werden durch den Rollwiderstandsbeiwert festgelegt, der sich in Abhängigkeit von der Streckenlängskoordinate ändern kann.

Bild 2: Schematische Darstellung des Antriebsstrangs

Fig. 2: Computer model of the driveline



Der Luftwiderstand wird in üblicher Weise berücksichtigt.

Eine schematische Darstellung des Antriebsstrangs zeigt Bild 2.

2.2.3. Das Fahrermodell

Für den Fall der Pilotfahrt mit einem Fahrzeug mit Automatikgetriebe ist kein Fahrermodell erforderlich, da sich die erforderliche Betätigung von Gas und Bremse und die Schaltung des Getriebes eindeutig aus dem Geschwindigkeitsverlauf ergibt. Für die Simulationsarten b und c hingegen ist das Verhalten des Fahrers zu beschreiben. Dabei muß das Modell angeben, wie der Fahrer Kuppelung, Gas und Bremse betätigt. Häufig liegt ein gemessener Geschwindigkeitsverlauf vor, der in einen Wunschgeschwindigkeitsverlauf umgewandelt werden soll. Dies läßt sich auf recht einfache Weise erreichen, indem die relativen Extrema des Geschwindigkeitsverlaufs zur Konstruktion verwendet werden, Bild 3. Dies läßt sich auch mit einer Rechenanlage automatisieren und hat sich bei Zyklen für Stadtbusse als sinnvoll erwiesen.

Das Modell des Fahrers erfordert neben der Wunschgeschwindigkeit V_w als Funktion der Wegkoordinate s auch eine Angabe, ob die Änderung der Wunschgeschwindigkeit für den Fahrer vorhersehbar ist. Es werden nun drei Fälle unterschieden, die auch bei dem Verkehrsmodell (siehe dazu Teil 1) unterschieden wurden, Bild 4:

- Konstantfahrt: die Ist-Geschwindigkeit befindet sich im Intervall $V_w \pm \delta$
- Beschleunigungsfahrt: die Ist-Geschwindigkeit ist kleiner als die Wunschgeschwindigkeit
- Verzögerungsfahrt: die Ist-Geschwindigkeit ist größer als die Wunschgeschwindigkeit.

Für diese Fälle unterscheidet sich das Verhalten des Fahrers. Er wird das Fahrzeug in der Beschleunigungsphase zügig mit annähernd Vollast beschleunigen, während bei der Konstantfahrt die Wunschgeschwindigkeit asymptotisch angestrebt wird. Bei der Verzögerungsfahrt wird eine negative Wunschbeschleunigung vorgegeben, deren Größe von der Vorhersehbarkeit der Geschwindigkeitsänderung, der Motivation des Fahrers und dem Reibwert der Straße abhängt.

Bei Automobilen mit Automatikgetriebe liegen die Schaltpunkte eindeutig fest. Ähnliches gilt für stufenlose Getriebe, bei denen eine Regelung eine eindeutige Zuordnung der Übersetzung zur Fahrgeschwindigkeit bewirkt.

Bei Fahrzeugen mit Schaltgetriebe wird hingegen ein Entscheidungsmodell verwendet, das hier nur skizziert werden kann. Trotz des umfangreichen Entscheidungsalgorithmus werden für das Schaltmodul im wesentlichen nur folgende Daten benötigt:

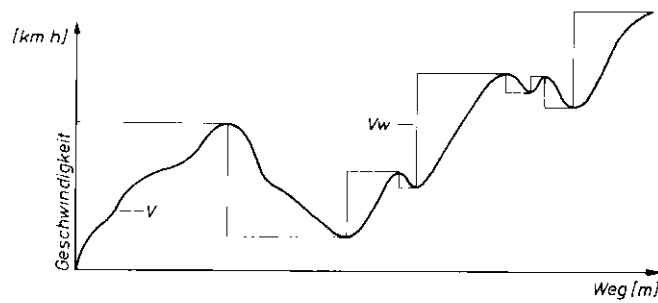


Bild 3: Umwandlung eines gemessenen Geschwindigkeitsverlaufs in einen Wunschgeschwindigkeitsverlauf

Fig. 3: Transformation of a measured speed-distance-profile to a desired speed-distance-profile

- Schaltpausen bei der Schaltung
- untere Richtdrehzahl bei wirtschaftlicher Fahrweise
- untere Richtdrehzahl bei eiliger Fahrweise
- obere Richtdrehzahl bei wirtschaftlicher Fahrweise
- obere Richtdrehzahl bei eiliger Fahrweise.

Aus den vier Richtdrehzahlen wird unter Berücksichtigung des Geschwindigkeitsverlustes bei einer Zugkraftunterbrechung (Schaltung) und der Motivation des Fahrers ein Sollwert-Drehzahlintervall berechnet.

Es wird nun in jedem Diskretisierungsintervall geprüft, ob die Motordrehzahl die-

ses Sollwert-Drehzahlintervall verläßt, ob die maximal mögliche Zugkraft am Rad im aktuellen Gang positiv ist und ob eine positive Beschleunigung im aktuellen Gang möglich ist. Trifft eine dieser Bedingungen nicht zu, so wird geprüft, ob ein Gangwechsel nötig ist.

Ein Gangwechsel erfolgt jedoch nur dann, wenn ein Gang mit Eigenschaften existiert, die für den aktuellen Ort s und den vorausgeschauten Ort $s + s_w$ gelten müssen:

- die Motordrehzahl nach der Schaltung liegt innerhalb des Sollwert-Drehzahlintervalls
- die maximale Zugkraft und die maximal mögliche Beschleunigung sind nach der Schaltung bei aktuellem Fahrwiderstand positiv.

Bei der Konstantfahrt werden alle existierenden Gänge für einen Gangwechsel überprüft. Bei der Beschleunigungsfahrt/Verzögerungsfahrt jedoch nur die Gänge, die sich um ein ganzzahliges Vielfaches des vorgebbaren Gangsprungs von dem aktuellen Gang unterscheiden. So wird bei typischen Lkw-Getrieben mit etwa 16 Gängen der Gangsprung = 2 gesetzt, so daß bei der Beschleunigungsfahrt minimal um zwei Gänge geschaltet wird. Es ist aber auch möglich, daß die Schaltung um vier oder gelegentlich gar um sechs Gänge erfolgt.

Ergeben sich mehrere geeignete Gänge, so werden weitere Kriterien für die Gangauswahl verwendet.

Je nach Motivationsfaktor des Fahrers wird der verbrauchsgünstigste Gang oder der mit der maximalen Beschleunigungsfähigkeit gewählt.

Wird kein Gang gefunden, der die genannten Bedingungen erfüllt, so erfolgt auch kein Gangwechsel. Dieser Zustand tritt zum Beispiel dann ein, wenn ein beladenes Fahrzeug an einer großen Steigung mit hoher Drehzahl den Abregelbereich des Motors erreicht. Obwohl die Drehzahlbedingung für die Schaltung erfüllt ist, wird hier der Geschwindigkeitsverlust bei einer Schaltung in der Schaltpause zu groß sein. Es erfolgt somit keine Schaltung und das Fahrzeug wird im Abregelbereich des Motors betrieben.

Auch für das Verhalten beim Bremsen wurde ein sehr flexibles Modell gewählt. So kann die Reihenfolge und der Nutzungsgrad der Elemente der Bremsanlage (Betriebsbremse, Retarder, Motor-

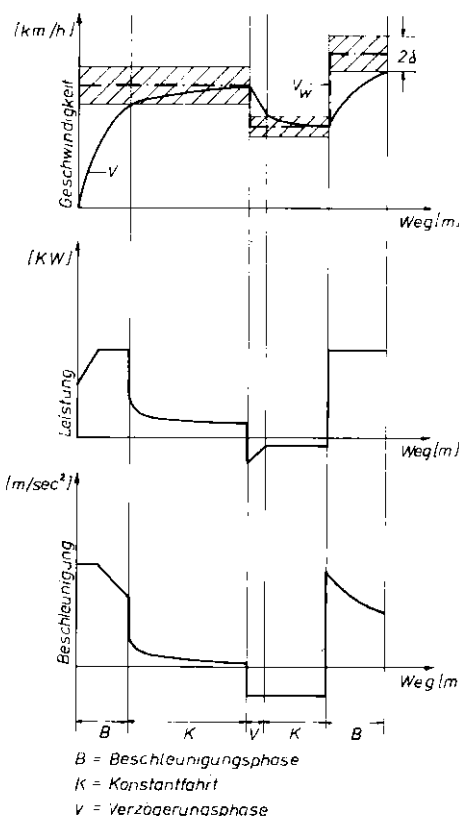


Bild 4: Verlauf von Wunsch- und Ist-Geschwindigkeit, Leistung und Beschleunigung in den einzelnen Phasen des Fahrzyklus

Fig. 4: Linkage of desired speed V_w , actual speed V , power and acceleration during particular phases of the speed-distance-profile

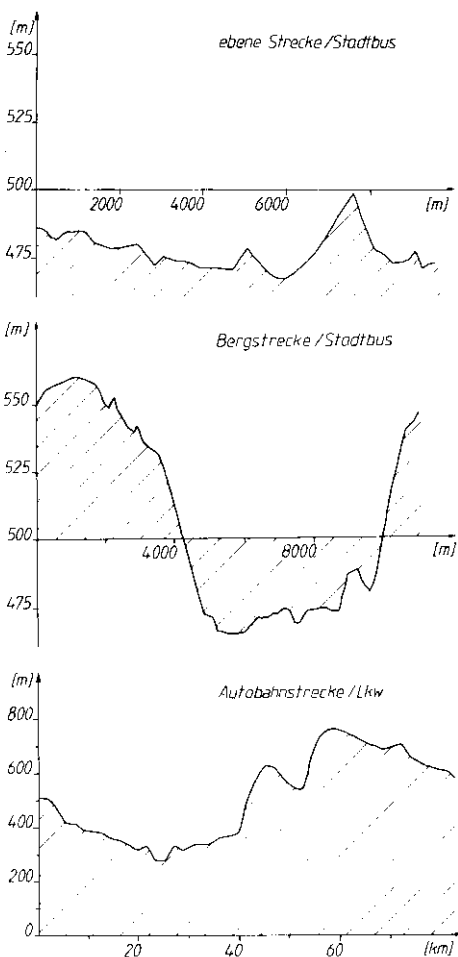


Bild 5: Topografie der Versuchsstrecken, auf denen die Simulationen erfolgte

Fig. 5: Relief of the test-course

bremse) vorgegeben werden und damit fast jedes denkbare Fahrerverhalten simuliert werden. Die Art der Bremsstrategie kann sich während der Simulation ändern.

Das Schaltverhalten des Fahrers ist realistisch und stimmt bezüglich der Häufigkeit der Gangverteilungen gut mit Messungen überein. Die Richtdrehzahlen las-

Tafel 2: Zusammenstellung der wichtigsten Fahrzeugdaten, mit denen die Simulationen erfolgten und berechneter Verbrauch [in l/100 km] ohne Standverluste und Fahrzeit in Sekunden

Table 2: Data of cars for simulation and results of fuel consumption and driving-time

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2	Fahrzeug 3
Art	Bus	Bus	Sattelzug
$A \cdot c_w$ [m ²]	5,6	5,6	6
Masse [kg]	17600	17600	38 000
Bereifung	11/70 R 22,5	11/70 R 22,5	12 R 22,5
Achse	5,92	5,92	3,92
Motorleist. [kW]	157 KW	157 KW	256 KW
Nennreh [U/min]	2400	2400	2200
Getriebe	Automat	SHL	konv. Schaltgetr
Anz. d. Stufen/Gänge	4	-	16
max. Geschw. [km/h]	101	105	112
Bergstrecke	39,2 / 2590	35,9 / 2572	
Ebene Strecke	35,7 / 1469	31,5 / 1471	
BAB geringere Verkehrsd.			54,8 / 5136
BAB größere Verkehrsd.			55,8 / 5923

sen sich bei Bedarf auch aus dem Motor-kennfeld generieren.

Gangoszillation, ein wiederholtes hoch- und herunterschalten, wird durch die „Vorausschau“ weitgehend vermieden.

Um unterschiedliche Fahrervarianten zu berücksichtigen wurde auch der in Teil 1 bereits beschriebene Motivationsfaktor verwendet, der Werte von 0 bis 1 annimmt. Je größer der Wert, desto mehr

wird an der Fahrleistungsgrenze gefahren.

2.2.4. Das Verkehrsmodell

Um von der Messung oder Vorgabe eines Wunschgeschwindigkeitsverlaufes unabhängig zu werden, wurde ein Verkehrsmodell programmiert, das aus autonomen Fahrer/Fahrzeugeinheiten besteht, deren Eigenschaften individuell vorgeben werden können. Dieses Verkehrsmodell liefert für jedes einzelne Fahrzeug ei-

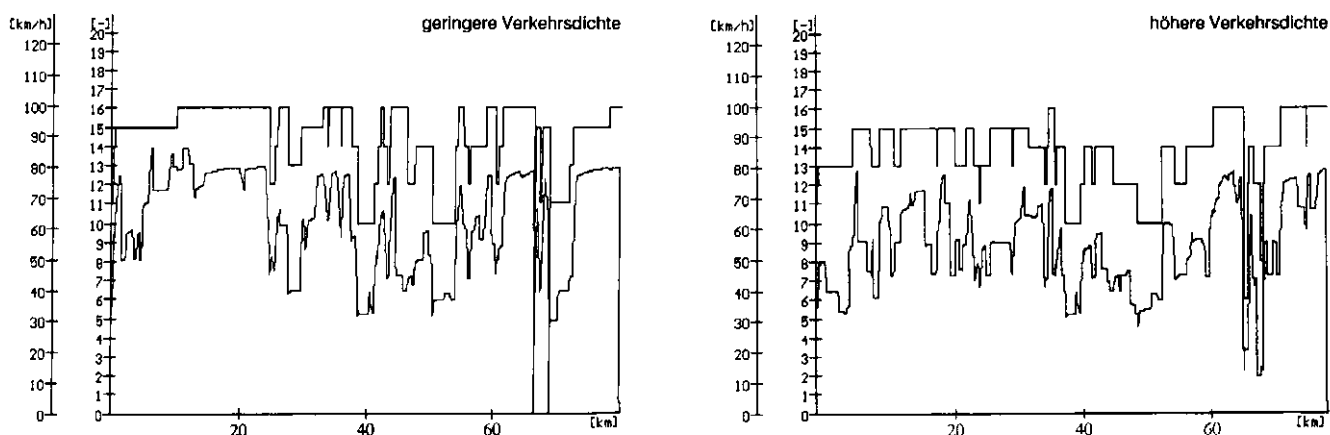


Bild 6: Fahrgeschwindigkeit und Gang als Ergebnisse einer Simulationsrechnung für einen Lkw auf der Autobahn Ulm-Stuttgart bei verschiedenen Verkehrsdichten

Fig. 6: Results of a simulation for speed and gear for the freeway Ulm-Stuttgart for various traffic-density

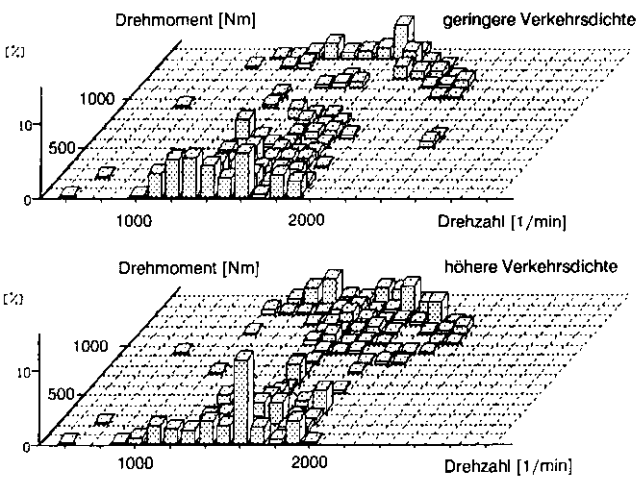


Bild 7: Prozentuale Verweildauer in Drehzahl-Drehmoment-Klassen als Ergebnis einer Simulationsrechnung für einen Lkw auf der Autobahn Ulm-Stuttgart bei verschiedenen Verkehrsdichten

Fig. 7: Results of a simulation for percentual time in classes of rotations and torque for a truck for the freeway Ulm-Stuttgart

nen Geschwindigkeitsverlauf. Eine detaillierte Beschreibung erfolgte in Teil 1.

Das Verkehrsmodell wird mit der Streckensimulation so gekoppelt, daß zunächst mit dem Verkehrsmodell eine Simulation erfolgt, bei der auch das zu untersuchende Fahrzeug mit relativ einfachen Gleichungen beschrieben wird. Der dabei erhaltene Verlauf der Ist-Geschwindigkeit wird dann als Wunschgeschwindigkeitsverlauf interpretiert und nachgefahren. Eine direkte Kopplung beider Modelle ist in Arbeit und wird auf einem Rechner mit zwei Prozessoren realisiert.

3 Beispiele durchgeführter Simulationen

Die Mehrzahl der Simulationen wird mit dem Ziel einer kraftstoffsparenden Auslegung und der Gewinnung von Belastungskollektiven für die einzelnen Komponenten des Antriebsstrangs durchgeführt. Auch die erreichbaren Fahrzeiten in Verbindung mit dem Kraftstoffverbrauch sind interessant. Um die Einsatzmöglichkeiten des Programms zu demonstrieren, werden Simulationsergebnisse für einen Stadtbus und für einen Lkw dargestellt, **Bild 5**.

Ein Beispiel für eine Streckensimulation mit einem Lkw (Daten siehe **Tafel 2**) zeigt **Bild 6**, wo der Verlauf der Fahrgeschwindigkeit und der gewählte Getriebeangang auf einem Teilstück der Autobahn Ulm-Stuttgart für einen Lkw für zwei verschiedene Verkehrsdichten dargestellt ist. Alle Drehmomente und Drehzahlen aller Komponenten des Antriebsstrangs werden in einer Ergebnisdatei gespeichert und können anschließend analysiert werden. Als Beispiel ist die Verweildauer der Betriebspunkte im Motorkennfeld, **Bild 7**, und die Häufigkeitsverteilung der Gangstellung dargestellt, **Bild 8**. Daraus lassen sich Anhaltswerte für eine kraftstoffsparende Auslegung des Antriebsstrangs ablesen.

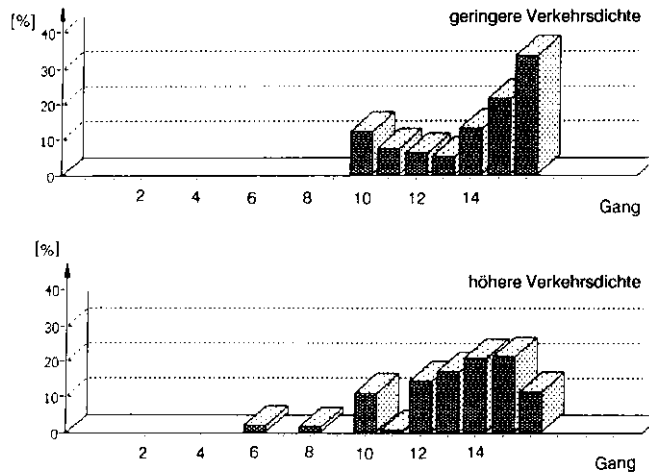


Bild 8: Prozentuale Verweildauer in den einzelnen Gängen als Ergebnis einer Simulationsrechnung für einen Lkw auf der Autobahn Ulm-Stuttgart bei verschiedenen Verkehrsdichten

Fig. 8: Results of a simulation for percentual time of gears for a truck for the freeway Ulm-Stuttgart

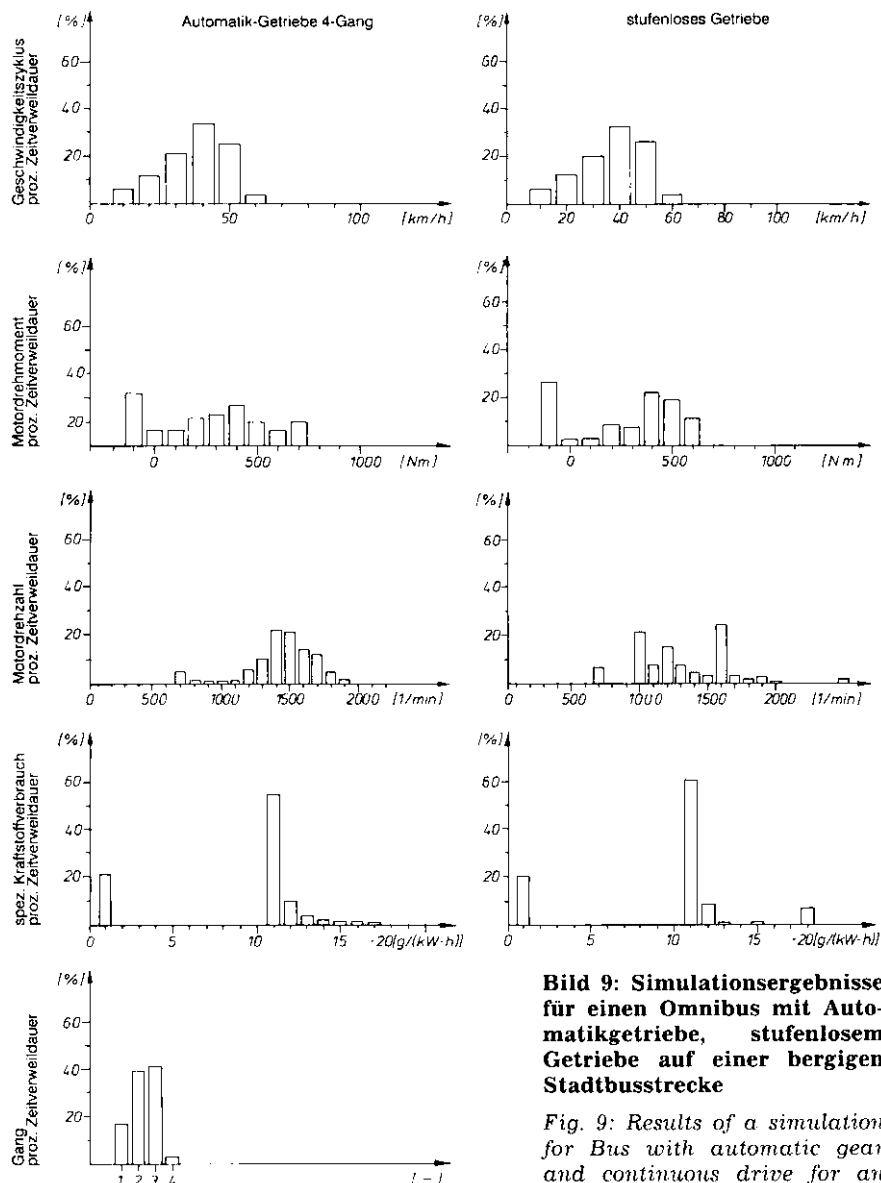


Bild 9: Simulationsergebnisse für einen Omnibus mit Automatikgetriebe, stufenlosem Getriebe auf einer bergigen Stadtbusstrecke

Fig. 9: Results of a simulation for Bus with automatic gear and continuous drive for an mountainous route

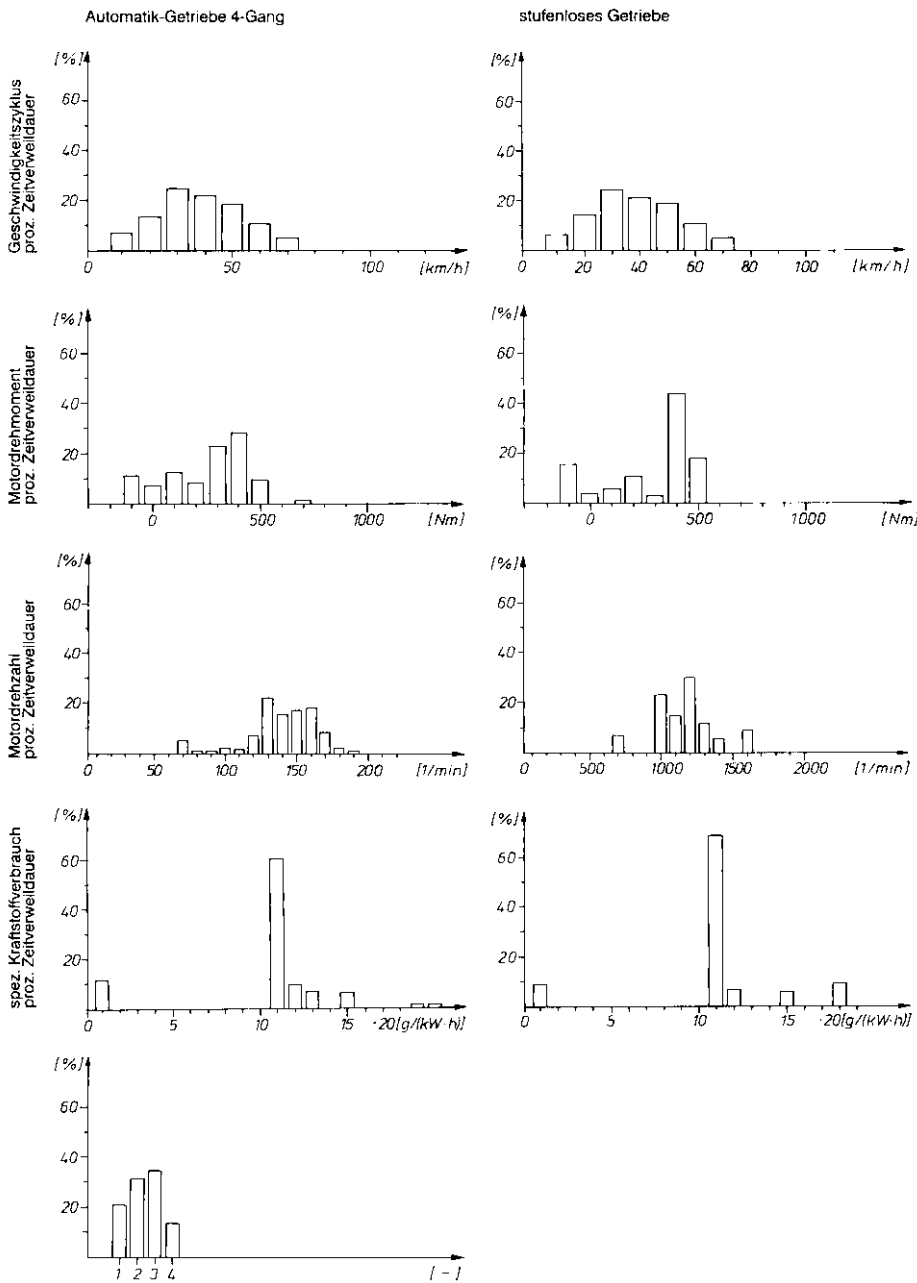


Bild 10: Simulationsergebnisse für einen Omnibus mit Automatikgetriebe, stufenlosem Getriebe auf einem ebenen Kurs für Stadtbusse

Fig. 10: Results of a simulation for Bus with automatic gear and continuous drive for a plane route

Fast immer werden verschiedene Achsübersetzungen und auch verschiedene Motoren simuliert und die Fahrzeiten und Kraftstoffverbräuche bestimmt. Auf diese Weise ergibt sich ein umfassendes Bild der Einsatzverhältnisse.

Bild 9 und 10 zeigen Simulationsergebnisse für einen Omnibus, bei dem verschiedene Getriebekonzepte auf verschiedenen Strecken untersucht wurden. Ein konventionelles, vierstufiges Automatikgetriebe mit Leistungsverzweigung wurde mit einem stufenlosen Getriebe [6] verglichen. Die Fahrzeugdaten wurden so gewählt, daß der wesentliche Un-

terschiede der Fahrzeuge in den Getrieben besteht.

In der ersten Zeile ist die Verweildauer der Geschwindigkeitsklassen dargestellt. Da alle Fahrzeuge die gleiche Vorgabe für das Befahren der Strecke haben, ist diese Verweildauer annähernd gleich. Die Verweildauer in Drehzahl- und Drehmomentklassen sowie in Klassen des spezifischen Kraftstoffverbrauchs erlauben eine Beurteilung des wirtschaftlichen Motorbetriebs. An diesem Beispiel der zwei Fahrzeuge wird deutlich, daß das stufenlose Getriebe einen Betrieb des Motors mit hohem Zeitanteil im

Bereich hoher Drehmomente und niedriger Drehzahlen – also im wirtschaftlichen Bereich des Motors – ermöglicht. Die Verweildauer des spezifischen Kraftstoffverbrauchs zeigt den häufigeren Betrieb im verbrauchsgünstigsten Bereich des Motors.

Ein umfassender Vergleich durch Simulation zeigte, daß das stufenlose hydrostatische Leistungsverzweigungsgetriebe (SHL-Getriebe) zu deutlichen Verbrauchsvorteilen im Vergleich zu herkömmlichen Automatikgetrieben führt. Der Vorteil des SHL-Getriebes tritt dann umso deutlicher hervor, wenn die Einsatzbedingungen bei dem herkömmlichen Antrieb in ungünstigen Bereichen des Motorkennfeldes erfolgen.

Bei den beiden verglichenen Strecken – einer Bergstrecke mit 23 km und einer ebenen Strecke mit etwa 14 km Länge – sind die Einsparungen durch das SHL-Getriebe auf dem ebenen Kurs höher als auf der Bergstrecke. Umfangreiche Parameterstudien, bei denen die Komponenten des Getriebes variiert und auch das Zusammenwirken mit unterschiedlichen Motoren berechnet wird, erlauben in einer frühen Phase einer Entwicklung eine weitreichende Beurteilung des Antriebskonzeptes.

4 Lebensdauerberechnungen

Lebensdauervorhersagen werden nach den gleichen Methoden durchgeführt, die auch in der rechnerischen Lebensdaueranalyse an Hand von experimentellen Daten angewendet werden [11]. Es wird somit für die interessierende Komponente des Antriebsstrangs ein Lastkollektiv oder eine Beanspruchungszeitfunktion mit Hilfe des Simulationsprogramms berechnet. Für geometrisch vergleichsweise einfache Bauteile des Antriebsstrangs (Wellen) können Lebensdauerberechnungen relativ schnell durchgeführt werden. Dazu werden die bei der Simulation erhaltenen Daten zu einem Computerprogramm zur Lebensdauervorhersage [13] konvertiert. Ein Generator für Wöhlerlinien, eine Anbindung an ein FE-Programm, verschiedene Klassierverfahren und verschiedene Methoden der Lebensdauerberechnung ermöglichen in kurzer Zeit eine Lebensdauervorhersage nach verschiedenen Verfahren. Für komplexe Komponenten hingegen (zum Beispiel Getriebe) müssen Ergebnisse aus Prüfstandsversuchen herangezogen werden.

Ein statistisch abgesicherter Vergleich der Lebensdauervorhersagen mit der Realität war bisher aufgrund der großen Zahl der dazu erforderlichen Daten nicht möglich. Eine Nachrechnung existierender Antriebsstränge konnte jedoch kritische Bauelemente und auch kritische Einsatzbedingungen identifizieren.

5 Ausblick

Die Vorhersage der Fahrleistungen und des Kraftstoffverbrauchs an Hand der Computersimulation ist weit fortgeschritten und hat bereits Einzug in den Entwicklungs- und Vertriebsalltag gehalten.

Die Lebensdauervorhersage mit derartigen Simulationssystemen wird aber immer nur eine Trendaussage sein können, da die Physik der Materialermüdung einer rechnerischen Vorhersage nur im statistischen Rahmen zugänglich ist. Eine Kombination von Rechnung und Messung ist bei Lebensdauervorhersagen sehr wichtig. Die Einbeziehung des Verkehrs in das Simulationssystem wird insbesondere bei neuartigen Fahrzeugen und Verkehrssystemen zunehmend Bedeutung erhalten.

Literaturhinweise

[1] Drewitz, H. J., P. v. Korff: Antriebsstrangoptimierung bei Last- und Sattelzügen für den Fernverkehr. VDI-Berichte 48. 1981. S. 161
 [2] Kneerich, W.: Optimierung von Getriebewirkungsgrad, Schaltqualität, Beschleunigung, Steigfähigkeit und Kraftstoffverbrauch von Pkw mit automatischem Getriebe durch Einsatz eines Computerprogramm-Systems. VDI-Berichte Nr. 368. 1980. Seite 139
 [3] Seifried, A., G. Buck und W. Maier: Statistische Fahrmechanik als Grundlage zur Berechnung von Fahrzeugantrieben. ATZ 75 (1973) 5, Seite 163 und ATZ 75 (1973) 8, Seite 290
 [4] Striffler, P.: Analytische Untersuchungen zur Optimierung von Triebwerkskomponenten bei Nutzfahrzeugen. VDI-Berichte 367. Seite 75
 [5] Gührer, A. und G. Lechner: Optimieren von Antriebssträngen durch Verknüpfen von Fahrsimulation und rechnergestützte Fahranalyse. ATZ 90 (1988) 7/8, Seite 401
 [6] Martini, S.: Stufenlos wirkendes hydrostatisches Lastschaltgetriebe im Vergleich zu bekannten Getrieben im Stadtbuseinsatz unter Berücksichtigung von Bremsenergie rückgewinnung. Dissertation TU-Böchem 1988. Institut für Konstruktions-technik, Heft 88.3. ISBN 3-89194-073-4

[7] Müller, K.-H., H. Kötze und K.-H. Butscher: A vehicle for measuring road topography. Dornier Post 1/88 Seite 61
 [8] Fischer, R.: Dynamische Simulation von Kraftfahrzeugen mit Automatikgetriebe. Auszug aus einer Dissertation 1988. TU Graz
 [9] Leutzbach, W.: Introduction to the theory of traffic flow. Springer Verlag 1988. ISBN 3-540-17114-4
 [10] Basli, K., Th. Thier und H.-P. Willmerding: Rechnergestützte Simulation unter Verwendung angenommener und gemessener Fahrvorgänge. Entwicklungslinien in Kraftfahrzeugtechnik und Straßenverkehr Seite 352. Herausgeber: Bundesminister für Forschung und Technologie. Bonn 1979. Verlag TÜV Rheinland
 [11] Westermann-Friedrich, A.: Sonderereigniskollektive. Bericht Nr. 274 der Forschungsvereinigung Antriebstechnik, 1988
 [12] Willmerding, G. und E. Jehlicka: Verbrauchsuntersuchungen an Stadtbussen. Der Nahverkehr Heft 5. 1986. Seite 13
 [13] Willmerding, G.: Berechnung der Lebensdauer dynamisch belasteter Bauteile mit Hilfe des TPS10 und des Postprozessors LIFE 11. Reutlinger Arbeitstagung „Finite Elemente in der Praxis“ vom 11. 4. 91

Auschrift des Verfassers:
 Prof. Dr.-Ing. Günter Willmerding
 Rosenstraße 5
 D-7908 Oberstotzingen

Europäisches Entwicklungszentrum von Nissan eröffnet

Nissan Opens European Technology Center

Das neue Entwicklungszentrum (NETC – Nissan European Technology Centre) in Cranfield ist zuständig für Design und Fahrzeugentwicklung. Es wird durch eine Zweigstelle am Produktionsstandort Sunderland ergänzt. Dort finden vornehmlich Fahrzeug- und Motorentests statt.

Anlässlich der Eröffnungsfeier gab Nissan weitere Ausbaupläne für das Zentrum in Cranfield bekannt. Mit einem Aufwand von 60 Millionen DM entstehen die Voraussetzungen für den Zusammenbau und Test von Prototypen. Auch die vorhandene Teststrecke wird weiter ausgebaut. Die Gesamtinvestition für das NETC werden umgerechnet rund 190 Millionen DM betragen. Derzeit sind 364 Mitarbeiter für die europäischen Entwicklungsarbeiten von Nissan tätig. go

Neues Teves ABS-Werk in den USA

New Teves Plant Assembling Anti-Skid ABS Brake Systems in USA

Die Alfred Teves GmbH (ATE Bremsen) legte am 18. März 1992 in Morganton, North Carolina, USA, den Grundstein für ihre weltweit 20. Produktionsstätte. Die neuen ABS/ASR-Fertigungsanlagen werden auf einem Gelände von mehr als 160 000 m², nur 50 Meilen von Asheville entfernt, mit einem Investitionsaufwand von 70 Millionen Dollar errichtet. In Asheville hatte Teves sein bisher größtes Werk zur Herstellung elektronischer Bremsentechnik 1989 in Betrieb genommen, das jedoch schon zum Jahresende 1992 eine Kapazität von 1,4 Millionen ABS/ASR-Systemen erreicht haben wird. 1000 Mitarbeiter arbeiten dann im „alten“ Werk, 350 weitere werden mit Auslastung der zusätzlichen Kapazität in Morganton 1993 hinzukommen. Fast jeder zweite amerikanische mit ABS ausgerüstete Pkw wird zur Zeit nach Teves-Angaben mit einem Teves-System ausgerüstet. go



Die idealen Getriebe für den Go-and-Stop-Verkehr

Voith-DIWA für Linienbusse, Voith-Midimat für Midibusse und Verteiler-Lkw

- Verschleißfrei fahren und bremsen
- Lange Lebensdauer, bis zu 1 Million Laufkilometer
- Hoher Fahrkomfort.

Mehr über Voith Automatic

J.M. Voith GmbH
 Nutzfahrzeuggetriebe
 Postfach 19 40
 D-7920 Heidenheim
 Tel. (0 73 21) 37-0
 Fax (0 73 21) 37-7104

and 040.1d