

Untersuchung der Einsatzverhältnisse von Getrieben unter realistischen Bedingungen durch Kombination von Messdatenerfassung und Computersimulation

Dipl.-Ing.(FH) **Jakob Häckh**, Prof. Dr.-Ing. **Günter Willmerding**, Ulm

Kurzfassung

Zur Ermittlung der Eigenschaften und des Verhaltens von Getrieben unter realistischen Einsatzbedingungen wurden Fahrversuche unter sehr unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt. Dazu wurde ein Neufahrzeug, ein Mercedes Benz SLK 350, beschafft und bei der überwiegenden Zahl der Fahrten wurden sowohl die Streckendaten (Topografie, Kurs) als auch der Verlauf der Fahrgeschwindigkeit über der Strecke erfasst. Lediglich die Daten des Nürburgrings wurden an Hand von Satellitendaten (Google earth) vermessen und die Fahrgeschwindigkeit mit einem Fahrermodell simuliert.

Auf der Basis dieser Daten wurden Simulationsrechnungen durchgeführt und die Größen des Antriebsstrangs berechnet, die für die Beurteilung von Lebensdauer und Kraftstoffverbrauch geeignet sind.

Um die möglichen Einsatzgrenzen der Getriebe darzustellen, wurden einerseits Fahrten des Fahrzeugs im Alltagsbetrieb als auch – als Grenzwert hoher Belastung – Fahrten auf einer Rennstrecke - dem Nürburgring - simuliert.

Die Ergebnisse werden in Form von Lastkollektiven, Verweildauerzählungen und einem Schädigungsmaß als Kennzeichnung der Einsatzschwere dargestellt.

Ziel der Arbeiten ist es, die Simulationstools für den Einsatz unter Langzeitbedingungen zu perfektionieren und außerdem Lastkollektive für eine sehr große Fahrstrecke unter typischen Bedingungen eines Endkunden zu ermitteln.

Abstract

To determine the characteristics and behaviour of transmissions under real conditions of use, test drives were carried out under varying conditions. For the purpose of these tests we

purchased a new vehicle, a SLK 350 and for each of the tests we recorded the route data (topography, route) and also the driving speed throughout the route.

Based on this measured data, simulated calculations were carried out to calculate the loadings of the transmission drive suitable for analysing fatigue life and fuel consumption.

To show the possible limits of the transmission, tests were simulated for normal day-to-day use as well as for test drives on the Nürburgring – to show the limits for extreme use.

The results are shown in the form of load spectrums, time at level counting and amount of fatigue damage to indicate the level of use.

Our aim is to perfect the simulation tools for use under long term conditions and also to ascertain load spectrums for a very long driving route under typical conditions for a customer.

1. Einleitung

Die Kenntnis über das Verhalten von Getrieben in Kraftfahrzeugen unter realistischen Einsatzbedingungen über größere Fahrstrecken ist bedeutsam für die Beurteilung von Fahrleistung, Wirtschaftlichkeit, Komfort und Lebensdauer. Die zunehmende Komplexität der Getriebe erfordert eine umfangreiche Erprobung, um auch seltene und unwahrscheinliche Ereignisse zu berücksichtigen.

Fahrversuche mit vollständiger Messausrüstung zur Erfassung der Einsatzbedingungen sind in der Konstruktionsphase (Verfügbarkeit) nicht und später wegen des Aufwands nur in begrenztem Umfang möglich.

In [1] wurde die Vorgehensweise beschrieben, wie bei der Mercedes Benz Car Group Lastkollektive mit Hilfe eines Simulationssystems ermittelt werden, bei dem auf der Basis einer Messung von Kurs, Topografie und Fahrgeschwindigkeit eine realistische Simulation durchgeführt werden kann und dass auf diese Weise die Lastkollektive ausreichend genau vorhergesagt werden können. Das gleiche Simulationssystem, winADAM/winMAP und winEVA, wird auch hier verwendet, jedoch wird hier ein anderes Fahrzeug - allerdings mit dem gleichen - Getriebe simuliert. Die Ergebnisse sind daher nicht unmittelbar vergleichbar.

Die hier präsentierten Daten sind lediglich erste Ergebnisse kurz nach der Beschaffung des Neufahrzeugs, sie sollen im weiteren Verlauf des Projektes durch unterschiedliche

Fahrzeugeinsätze mit verschiedenen Fahrern erweitert werden, um für das vorliegende Getriebe möglichst die ganze Bandbreite möglicher Lastkollektive zu ermitteln. Darüber hinaus dient das Projekt der Perfektionierung der Methodik der Datenerfassung und Simulation unter Langzeitaspekten.

2. Das System Fahrer Fahrzeug und Umwelt / Elemente des Simulationssystems

Voraussetzung für eine realistische Simulation ist die ausreichend genaue Erfassung der Einflussparameter des Gesamtsystems bestehend aus dem Fahrzeug, seiner Umwelt einschließlich Verkehr und dem Fahrer. Die Aufgabe besteht nicht nur darin, die einzelnen Modelle sondern auch deren Zusammenwirken realistisch zu beschreiben, damit Aussagen über Fahrleistung, Lebensdauer und auch Kraftstoffverbrauch getroffen werden können.

Das Fahrzeug, das vergleichsweise einfach durch bekannte formelmäßige Zusammenhänge zu beschreiben ist, wird durch einen Fahrer gelenkt, der das Fahrzeug über Stellelemente (Gaspedal, Bremse, Lenkrad, etc.) bedient. Die Betätigung erfolgt auf Grund von Informationen aus der Umwelt (Krümmung der Bahnkurve, Neigung, Sichtweite, Reibwert der Straße, Eigenschaften des Fahrzeugs, Befindlichkeit des Fahrers).

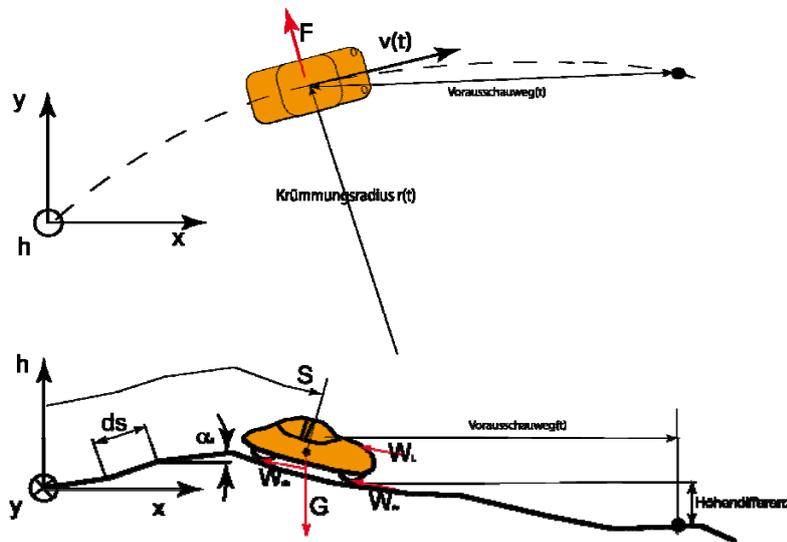


Bild 1: Daten zur Beschreibung des Einzelfahrzeugs in der Umwelt

Das Einzelfahrzeug mit den wirkenden Fahrwiderständen und der Fliehkraft wird durch bekannte physikalische Zusammenhänge beschrieben. Umweltdaten wie Steigung, Krümmung, Reibwert, Sichtweite, etc. werden für einzelne Wegintervalle ds als konstant angenommen. Dabei liegt ds je nach Aufgabenstellung im Bereich von wenigen Zentimetern bis hin zu einigen Metern (Bild 1).

Die existierenden Verkehrsbeschränkungen (Geschwindigkeitslimit) und das Zusammenwirken mit anderen Verkehrsteilnehmern ist ebenfalls bedeutsam für das Fahrerverhalten und die sich ergebenden Fahrzyklen. Unser Ziel war es, den Verkehrseinfluss auch quantitativ zu erfassen, doch sollte die Datenmenge so reduziert werden, dass kein zusätzlicher Messaufwand erforderlich war. Dieses Ziel wurde durch eine Nachbearbeitung der Videoaufzeichnung erreicht und die dabei erfassten Ereignisse und Daten sind in Bild 2 schematisch dargestellt. Dies wird in Kap. 3.2 noch detaillierter erläutert.

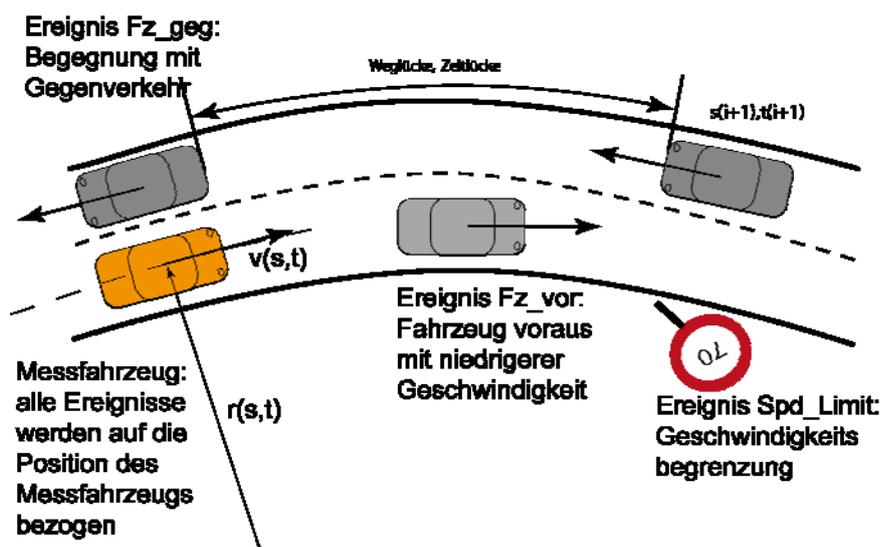


Bild 2: Zustände, Ereignisse und Größen, die durch Einwirkung anderer Fahrzeuge entstehen.

Die Elemente des Systems sind somit folgende:

- Das Messdatenerfassungssystem winADAM/winMAP zur einfachen aber ausreichend genauen Erfassung der Einsatzverhältnisse (Geschwindigkeit, Topografie, Kurs, Krümmung, Videoaufzeichnung) [13].
- Das Simulationssystem winEVA für das Fahrzeug, Antriebsstrang und den Fahrer, das auf der Basis der gemessenen Daten eine Vorhersage der Fahrzeugdynamik, Kraftstoffverbrauch und Lastkollektive [5,6,12] ermöglicht.
- Das Lebensdaueranalysesystem winLIFE, das eine Lebensdauerabschätzung auf der Basis der Simulationsergebnisse von winEVA ermöglicht [7-11].

3. Erfassung der Einsatzdaten des Fahrzeugs (Kurs, Topographie, Verkehr)

3.1 Aufbau des Messsystems winADAM



Bild 3: Messsystem winADAM (links) mit allen Sensoren in der Box

winADAM ist eine Messbox (Bild 3), die alle zur Messung erforderlichen Sensoren enthält, und die in Tabelle 1 angegebenen Größen erfasst. Es werden Redundanzen genutzt, um die Position x,y , die gefahrene Wegstrecke s , Fahrgeschwindigkeit v , Höhe h , Längsneigung α (wegen der Messfehler möglichst nach verschiedenen Methoden) zu erfassen, um daraus ein möglichst genaues Signal zu ermitteln. Eine parallel zur GPS-Messung laufende Koppelnavigation erlaubt auch bei Ausfall des GPS-Signals die Positionsbestimmung mit ausreichender Genauigkeit. Zur Visualisierung kann eine Karte eingescannt und zusammen mit dem aufgezeichneten Kurs dargestellt werden.

Die Messbox enthält alle notwendigen Sensoren und muss lediglich in horizontaler Lage im Fahrzeug fixiert und die GPS-Antenne auf dem Dach positioniert werden. Darüber hinaus besitzt das System einen CAN-Anschluss und 10 weitere Eingänge für analoge Messgrößen.

Tabelle 1: erfasste Größen des Systems winADAM (redundante Größen fett).

	typ. Abtastrate [Hz]	Messgröße	Sensor, Verfahren	Berechnete Größe abgeleitete Größen
Kursdaten	1 (10)	$x(t), y(t), z(t)$	[D]GPS	$s(t), x(s), y(s), z(s), K(s)$
	10	$a_l(t)$,	Beschl.-Sensor	$s(t); v(t) = \int a_l dt; v(s) = f(v(t))$
	10	$\gamma(t)$	Gierratensensor	$K(s) = f(\gamma(t), v(t), s(t));$
Topografie (Höhenprofil)	10	$p(t)$	Drucksensor	$h(s), \alpha(s)$
	1 (10)	$z(t)$	[D]GPS	$h(s), \alpha(s)$
Fahrerverhalten	1 (10)	$v(t)$	[D]GPS	$v(s)$
	10	$a_l(t)$,	Beschl.-Sensor	$s(t); v(t) = \int a_l dt; v(s)$
	10	$a_q(t)$	Beschl.-Sensor	
	10	$\gamma(t)$	Gierratensensor	$a_q(t) = f(\gamma(t), v(t))$ $a_q(s)$
Umwelt/Verkehr	0,1...10	Videobild mit Zeit- und Wegstempel	Video-Bild	s_g, t_g, v_{zul} Zustände: Folgefahrt, Reibwertklasse Sichtweitenbehinderung Überholung / Überholen

Mit:

v	[m/s]	Fahrgeschwindigkeit
a_l	[m/s ²]	Längsbeschleunigung des Fahrzeugs
a_q	[m/s ²]	Querschleunigung des Fahrzeugs
α	[°]	Längsneigung
h	[m]	Höhe
K	[1/m]	Krümmung
p	[mbar]	Umgebungsdruck
x, y, z	[m]	Koordinaten des Bahnpunktes
γ	[°/s]	Gierrate
v_{zul}	[m/s]	gesetzl. zul. Geschwindigkeit
s	[m]	Fahrstrecke
s_g	[m]	Weglücke Gegenverkehr
t_g	[s]	Zeitlücke Gegenverkehr
t	[s]	Zeit
[D]GPS		(Differential) Global Positioning System

Das GPS-Signal steht bei der Mehrzahl der üblichen Empfänger nur 1 Mal pro Sekunde zur Verfügung. Im Falle von DGPS-Empfängern sind 10 Werte pro Sekunde üblich.

Die anderen Messgrößen können mit bis zu 1 kHz pro Kanal abgetastet werden. Wegen der Datenmenge werden jedoch nur 10 Werte pro Sekunde gemessen. Das Video-Signal wird meist mit 10 Bildern pro Sekunde erfasst, so dass eine Auswertung der Verkehrssituation und Verkehrsschilder ausreichend genau möglich ist. Bei Messungen über mehrere Tage kann die Bildfrequenz wegen der Datenmenge auf 1 Bild/Sekunde oder weniger reduziert werden.

3.2 Nachbearbeitung der Messdaten durch Auswertung der Videoinformation

Fahrzyklen hängen entscheidend vom Fahrerverhalten und vom Verkehrseinfluss ab. Um diese Einflussgrößen zu objektivieren und in die Simulationen mit einzubeziehen, werden die Videoinformationen nachträglich ausgewertet und in folgende Zahlenwerte bzw. Zustandsvariablen umgesetzt (s. Bild 2).

gesetzlich zulässige Geschwindigkeit

Behinderung durch andere Verkehrsteilnehmer (Fahrzeug voraus ja/nein)

Überholpotential (Zeit- und Weglücken des Gegenverkehrs)

aktive und passive Überholvorgänge

Fahrbahnzustand (trocken, nass, etc)

Sichtbedingungen (freie Sicht, Regen, Nebel)

Zunächst lässt sich die Verkehrsdichte durch Zählung der Fahrzeuge des Gegenverkehrs ermitteln. Auch die Zusammensetzung des (Gegen-) Verkehrs (Lkw / Pkw) kann so bestimmt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Verkehrszusammensetzung in beiden Fahrrichtungen ähnlich ist.

Bei freier Fahrt – kein Fahrzeug fährt voraus - ist die Relation der gefahrenen Ist-Geschwindigkeit zur zulässigen Geschwindigkeit - über eine größere Fahrstrecke integriert – ein Maß für die Fahrermotivation. Auch kann die Aufmerksamkeit und Gleichmäßigkeit des Fahrverhaltens beurteilt werden. Die Anzahl der Überholvorgänge (aktiv/passiv) und die zugehörige Zeitlücke im Gegenverkehr erlaubt Rückschlüsse auf die Fahrermotivation. Die nachträgliche Auswertung des Videobildes ist zwar zeitaufwendig, liefert jedoch wichtige zusätzliche Informationen.

Das Ergebnis der Datenerfassung und nachträglichen Videoauswertung einer Messfahrt zeigt Bild 4. Dort sind neben dem Kurs, Höhenprofil, Fahrgeschwindigkeit auch die Zusatzinformationen dargestellt. Man kann die Informationen selektieren, ein- und ausblenden und damit die Übersichtlichkeit verbessern.

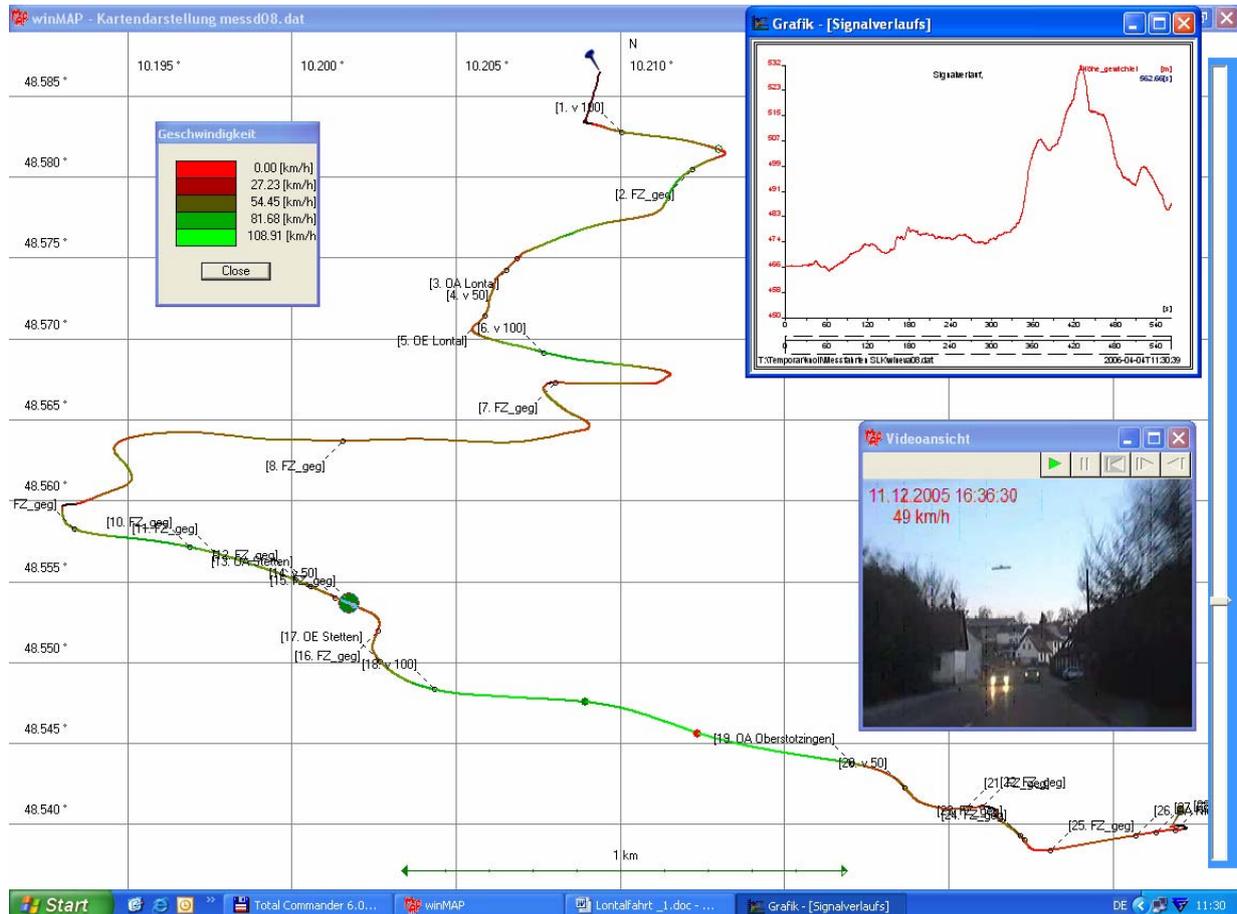


Bild 4: Fahrzyklus, der mit winADAM erfasst und dessen Ereignisse nachträglich durch Videoauswertung dokumentiert wurden

3.3. Auswertung von Satellitenaufnahmen

Das Abfahren eines Kurses mit einem Messsystem ist zwar bereits eine einfache Möglichkeit, doch muss immerhin eine Messfahrt erfolgen. Im vorliegenden Fall sollte der Nürburgring mit in die Untersuchung einbezogen werden, doch aus Zeitgründen konnte keine Messfahrt erfolgen. Da auf dem Nürburgring keine Verkehrsbehinderung auftritt, bot sich eine reine Erfassung der Kursdaten an, auf deren Basis dann mit Hilfe eines Fahrzeug-Fahrer-Modells der Geschwindigkeitsverlauf berechnet wurde. In [14] wurde gezeigt, dass

diese Vorgehensweise zu einer brauchbaren Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung führen kann. Es wurde nun eine im Internet (Google-Earth [16]) verfügbare Satellitenaufnahme ausgewertet und mit dem in [1, 14] gemessenen Kursverlauf verglichen. Es zeigte sich eine für die vorliegende Fragestellung völlig ausreichend genaue Möglichkeit der Kursdatenerfassung. Lediglich das Höhenprofil konnte nicht ermittelt werden, so dass es aus der in [14] angegebenen Topografie des Nürburgrings abgemessen und auf die Strecke aus der Satellitenaufnahme übertragen wurde.

4. Das Simulationssystem für Fahrer, Fahrzeug und Umwelt winEVA

4.1 Modell des Fahrzeugs

Der Antriebsstrang des virtuellen Fahrzeugs wird, vergleichbar zum realen Antriebsstrang, komponentenweise abgebildet. Man spricht von einem modularen Aufbau. Der Antriebsstrang beginnt beim Motor und wird über die Antriebsstrangelemente bis zu den Rädern vervollständigt. Aufgrund des modularen Aufbaus können Änderungen schnell berücksichtigt werden.

Das Modell ist skalierbar, das bedeutet, dass es unterschiedliche Modelltiefen berücksichtigen kann. So ist eine Simulation mit Drehschwingungen unter Einbeziehung der kompletten dynamischen Vorgänge im Getriebe einschließlich der Schaltvorgänge nach Klos [12] integriert. Wenn diese hochdynamischen Vorgänge nicht interessieren, kann mit stark vereinfachten Modellen und entsprechend hoher Zeitraffung (Echtzeit / Rechenzeit > 1000) gearbeitet werden und es bleibt dem Anwender überlassen, mit welcher Modellfeinheit er arbeiten möchte.

Bild 5 zeigt den Antriebsstrang als Beispiel für den MB-SLK 350 mit Sieben-Gang-Wandler-Automatikgetriebe. Der Antriebsstrang besteht aus den Komponenten Motor, Wandler, Automatgetriebe, Gelenkwelle, Hinterachsmittelstück, Seitenwellen, Bremsen, Räder. Die einzelnen Antriebsstrangelemente werden durch bauteilspezifische Kenngrößen sowie stationäre Kennlinien bzw. Kennfelder beschrieben.

Die Lastkollektive werden für das DaimlerChrysler 7-Gang-Wandler-Automatikgetriebe ermittelt, dessen Aufbau aus Bild 6 ersichtlich ist.

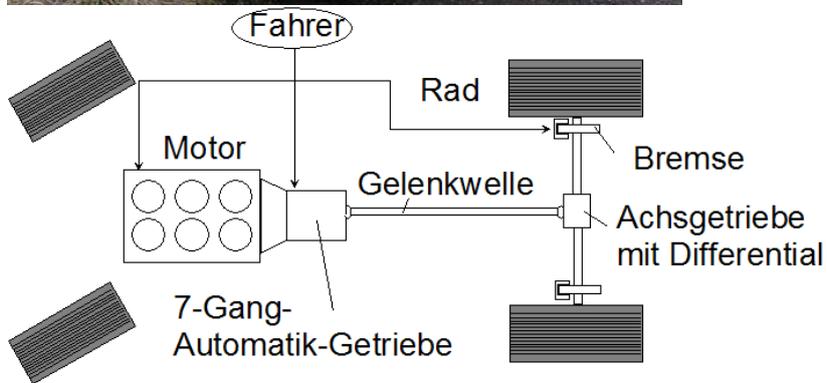


Bild 5: Messfahrzeug (GPS-Antenne auf Dach, Video-Kamera) und sein Antriebsstrang (schematisch)

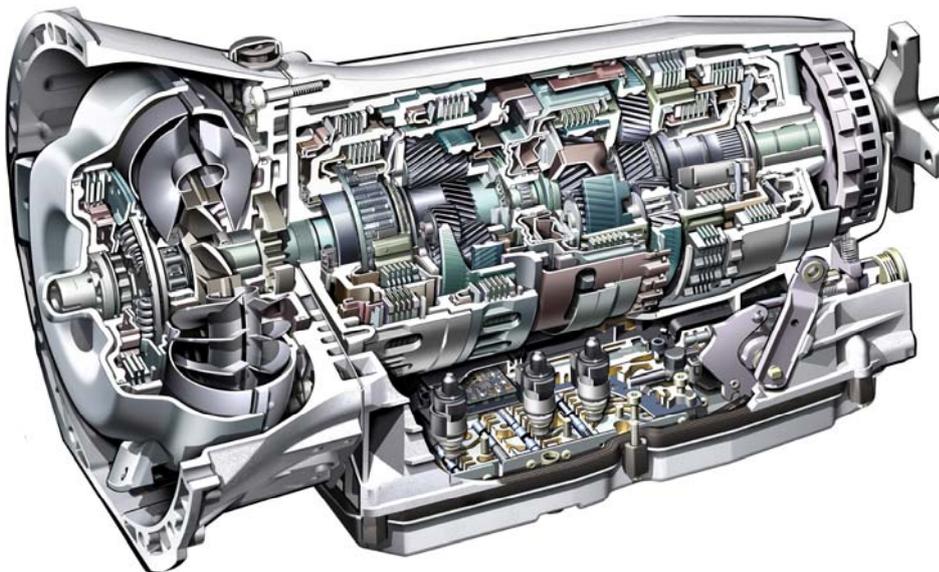


Bild 6: 7-Gang-Wandler-Automatikgetriebe der Firma DaimlerChrysler, für das die Lastkollektive simuliert werden (Quelle: DaimlerChrysler).

Die Fahrzeugdaten des MB-SLK 350 wurden aus [15] entnommen, fehlende Werte – z.B. Getriebeschaltpunkte - durch eigene Messungen ermittelt. Durch Fahrversuche, Abgleich und Anpassung der Fahrzeugdaten konnte eine brauchbare Abbildung des Schaltverhaltens erreicht werden.

4.2 Vorgehen bei der Simulation

Für die Simulation wurde einerseits der im Fahrversuch gemessene Geschwindigkeitsverlauf als Zielvorgabe genommen und nachsimuliert. Bei dieser Simulationsart werden brauchbare Übereinstimmungen erreicht, was in [1] berichtet wurde (s. Bild 7).

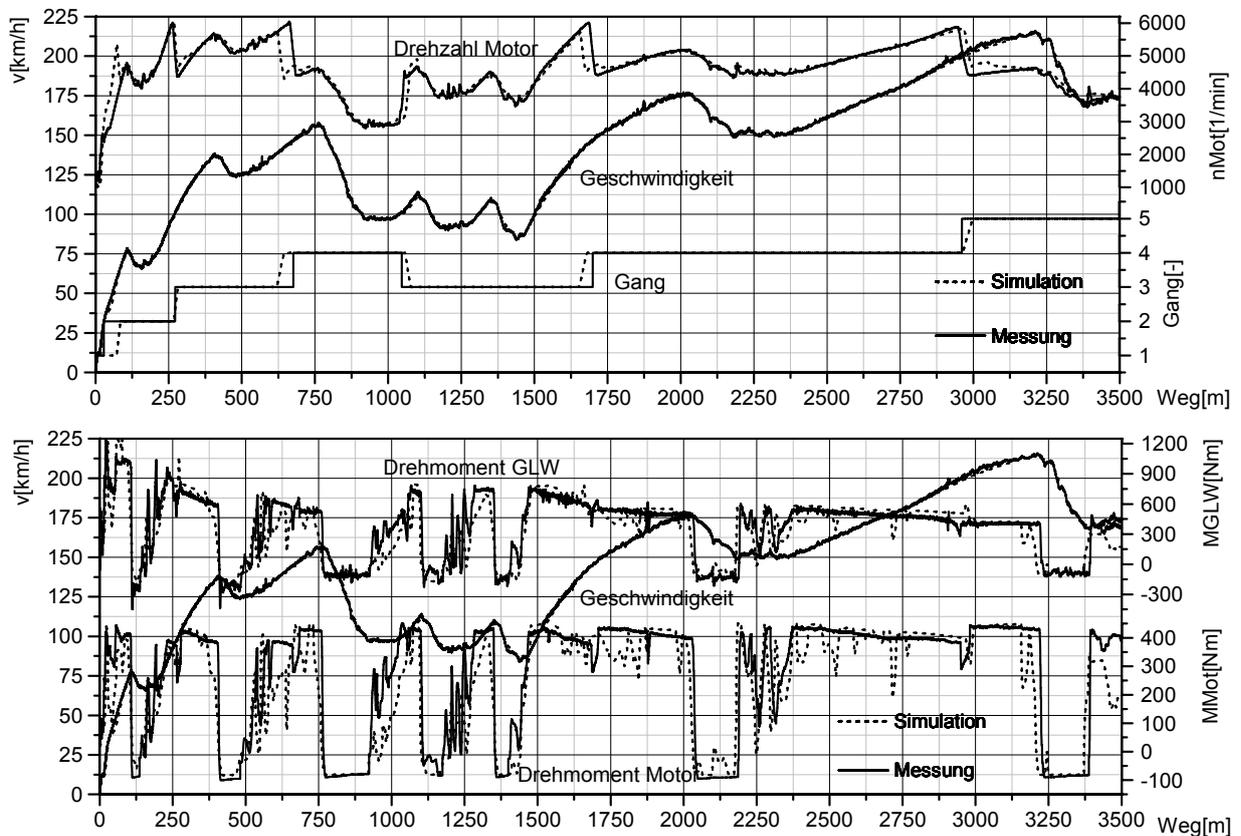


Bild 7: Ergebnisse für Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Drehmoment Motor, Gelenkwelle und Gang jeweils aus Messung und Simulation (Pilotfahrt) für den Nürburgring aus [1,14].

Für die Simulation des Nürburgrings wurde – wie bereits erwähnt - lediglich der Kurs aber kein Geschwindigkeitsverlauf zu Grunde gelegt. Es wurde ein Fahrermodell verwendet, das

auch die Querdynamik berücksichtigt. Dazu wurde die Wahlhebelstellung S am Getriebe gewählt, wozu durch Fahrversuche die entsprechenden Schaltprogramme des Getriebes ermittelt wurden. Die Simulation erfolgte für den Automatikbetrieb, d.h. es wurde nicht manuell der Wahlschalter des Getriebes betätigt. Dies Verhalten dürfte einem sportlich orientierten Fahrer entsprechen. Wenn das Fahrzeug rennmäßig bewegt wird, dann wird der Fahrer eine manuelle Gangwahl über den Wahlschalter durchführen. Entsprechende Simulationen werden in Kürze durchgeführt.

5. Simulationsergebnisse für unterschiedliche Einsatzbedingungen

Ziel der hier durchgeführten Simulationen ist es, das Verhalten des 7-Gang-Automatik-Getriebes der Firma DaimlerChrysler für sehr unterschiedliche Einsatzbedingungen anzugeben. Die hier angewendete Vorgehensweise soll über den gesamten Lebenszyklus eines MB-SLK 350 im Kundeneinsatz angewendet werden. Die präsentierten Daten sind lediglich erste Ergebnisse kurz nach der Beschaffung des Neufahrzeugs. Es werden im weiteren Verlauf des Projektes unterschiedliche Fahrzeugeinsätze mit unterschiedlichen Fahrern untersucht werden, mit dem Ziel für das vorliegende Getriebe umfangreiche Lastkollektive zu ermitteln aber auch die Methodik der Datenerfassung und Simulation zu perfektionieren.

Die virtuellen Fahrten auf dem *Nürburgring*, der eine Länge von ca. 20 km aufweist, stellen Extrembelastungsgrenzwerte für den Antriebsstrang dar. Ein Vergleich eines „Alltagskollektivs“ mit diesem Kollektiv erschien daher interessant.

Die Messfahrten im *Alltagsbetrieb* durch Mitarbeiter des Steinbeis Transferzentrums, die durchaus fahrerisch interessiert sind, sich jedoch jederzeit an die gängige Verkehrspraxis auf öffentlichen Straßen gehalten haben, stellen ein völlig anderes Beanspruchungsniveau dar. Diese Fahrten sind keineswegs repräsentativ für andere Nutzer des Fahrzeugs, sondern sie stellen lediglich einen Ausschnitt aus einem *möglichen* Benutzerspektrum dar. Sie werden deshalb mit STZ-Kollektiv bezeichnet.

Die Fahrten erfolgten überwiegend auf Landstraßen mit entsprechenden Ortsdurchfahrten. Autobahnfahrten sind nur mit knapp 10 % der Wegstrecke enthalten, wobei auf Grund der winterlichen Verhältnisse auf der Autobahn nur wenig mehr als 100 km/h gefahren werden konnte. Die Fahrten wurde alle in der Getriebebestellung C (Komfort) durchgeführt.

5.1. Getriebelastkollektive

Die mittlere Fahrgeschwindigkeit auf der STZ-Strecke beträgt 49 km/h, während bei den Fahrversuchen zu [1,14] auf dem Nürburgring eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von 122 km/h gefahren wurde. Die mittlere Geschwindigkeit in den einzelnen Gängen zeigt Bild 9. Interessant ist die Verteilung der Fahranteile in den Gängen (Bild 8): Die Fahranteile in den mittleren Getriebegängen vier und fünf auf dem Nürburgring sind deutlich höher als auf der STZ-Strecke. Auf dem Nürburgring wird der siebte Gang deutlich weniger gefahren, während der sechste Gang annähernd gleich häufig gefahren werden. Auf der STZ-Strecke hingegen dominiert der 7. Gang mit ca. 50% der Fahrstrecke, so dass der Motor meist im niedrigen verbrauchsgünstigen Drehzahlbereich gefahren wurde. Auf dem Nürburgring wird der fünfte Gang am häufigsten gefahren.

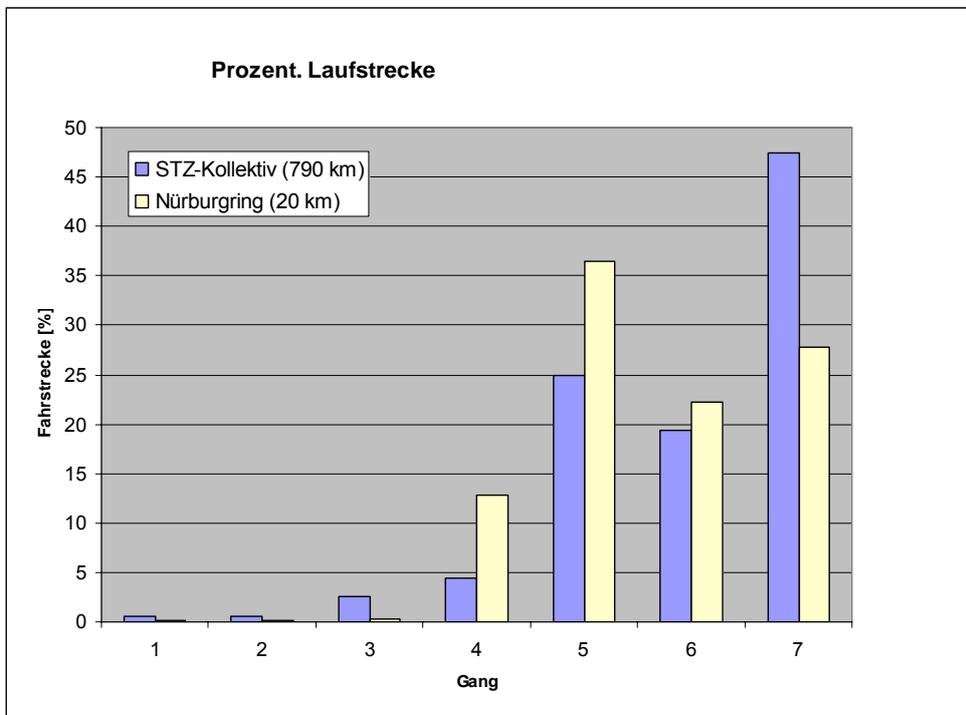


Bild 8: Prozentuale Laufstrecke in den Gängen für das STZ-Kollektiv und den Nürburgring in den einzelnen Gängen

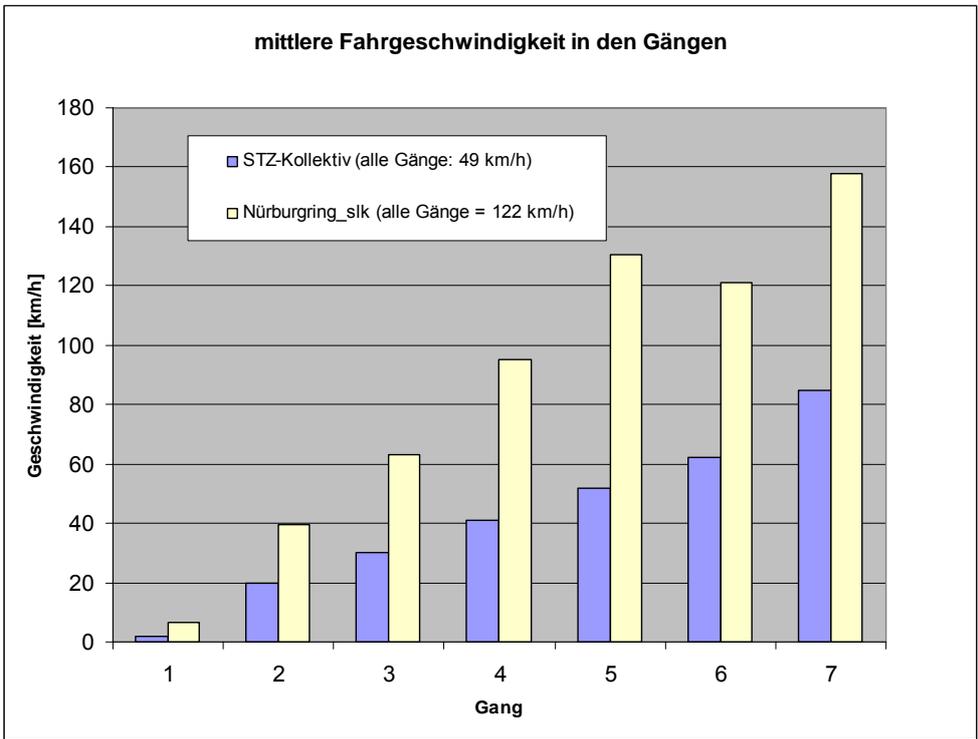


Bild 9: mittlere Fahrgeschwindigkeit für das STZ-Kollektiv und den Nürburgring in den einzelnen Gängen

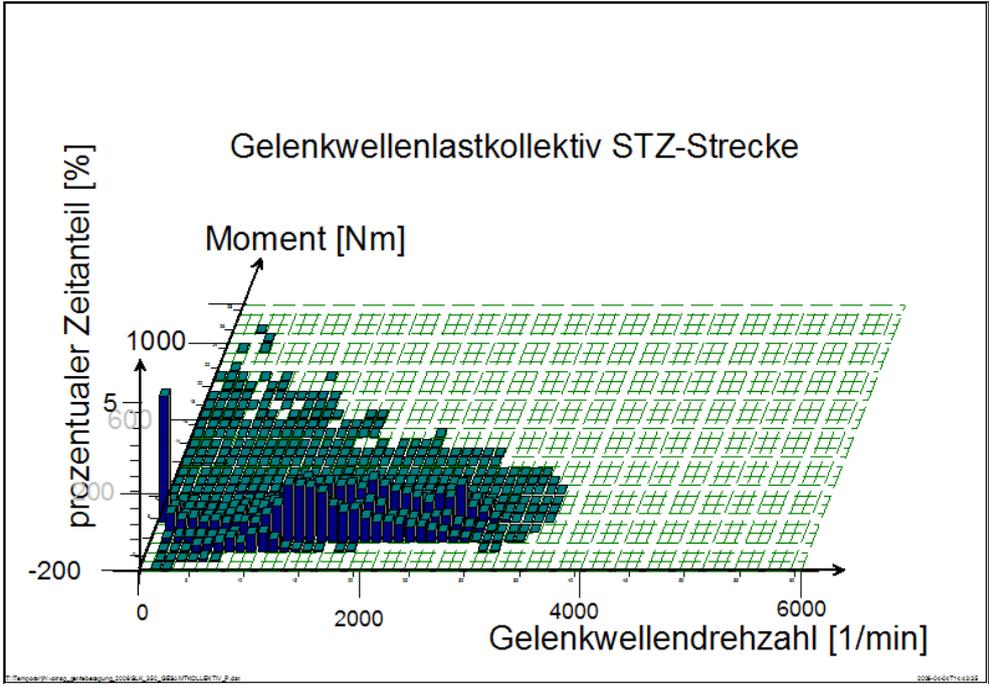


Bild 10: Prozentuale Zeitanteile von Gelenkwellenmoment und Drehzahl für die STZ-Strecke

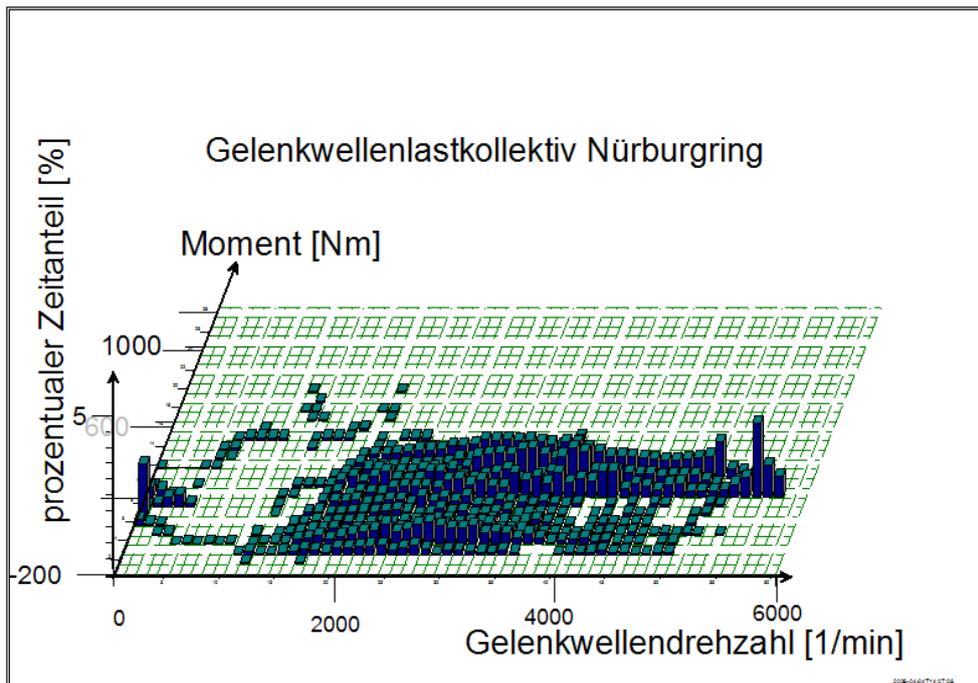


Bild 11: Prozentuale Zeitanteile von Gelenkwellenmoment und Drehzahl für den Nürburgring analog zu [1] jedoch in anderer grafischer Darstellung.

Die Lastkollektive des Getriebes – also das Gelenkwellenmoment über der Gelenkwellendrehzahl – sind in Bild 10 und 11 dargestellt. Die Auswertung für die STZ-Strecke basiert auf einer Fahrstrecke von 790 km, so dass die Verteilung der Betriebspunkte entsprechend dichter ist als bei der 20 km langen Nürburgringstrecke (Bild 11). Es ist erkennbar, dass die Betriebspunkte des STZ-Kollektivs überwiegend bei niedrigen Drehzahlen und entsprechend vergleichsweise geringer Leistung liegen. Die maximalen Drehmomente sind allerdings ähnlich hoch, was durch einige extreme Steigungsstrecken erklärt wird, die auf der STZ-Strecke regelmäßig mit geringer Geschwindigkeit befahren wurden.

Beim Nürburgringkollektiv hingegen liegen viele Betriebspunkte bei höheren Drehzahlen an der idealen Zugkrafthyperbel der maximalen Motorleistung, was sich im Motorlastkollektiv in Bild 12 abzeichnet. Hingegen liegen für die STZ-Strecke (Bild 13) die Motorbetriebspunkte im niedrigen Drehzahlbereich und damit auch viele Betriebspunkte in der Nähe des verbrauchsgünstigen Bereichs des Motorkennfeldes.

Das Motorlastkollektiv für den Nürburgring hingegen zeigt, dass häufig auf der Vollastlinie und mit einer Drehzahl in der Nähe der maximalen Leistung gefahren wird (Bild 12) während das STZ-Kollektiv zeigt, dass der Motor überwiegend mit geringer Leistung gefahren wird.

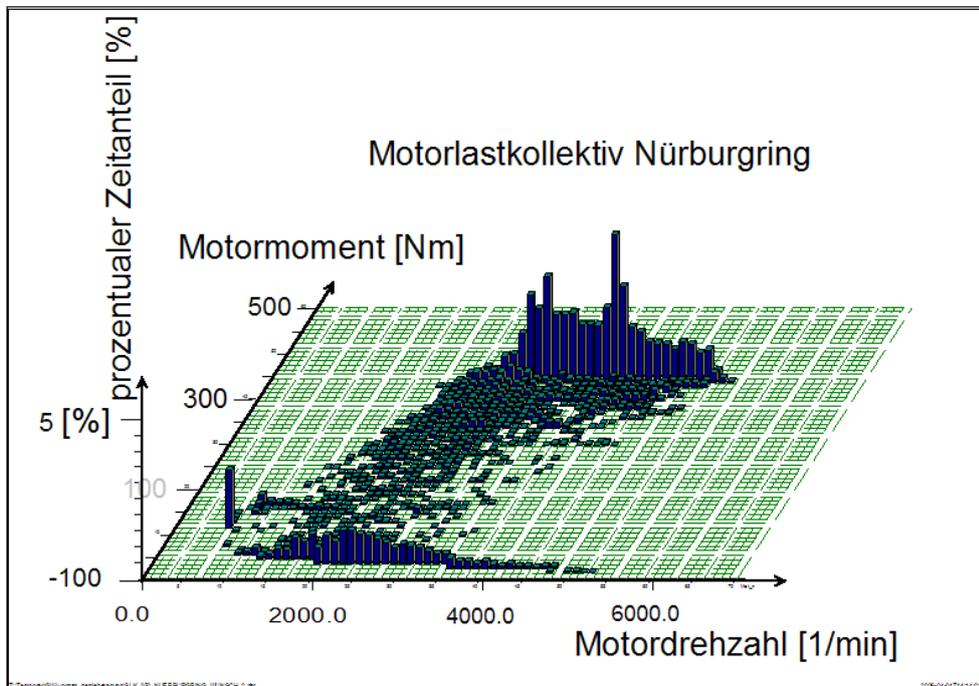


Bild 12: Prozentuale Zeitanteile von Motormoment und Drehzahl für den Nürburgring

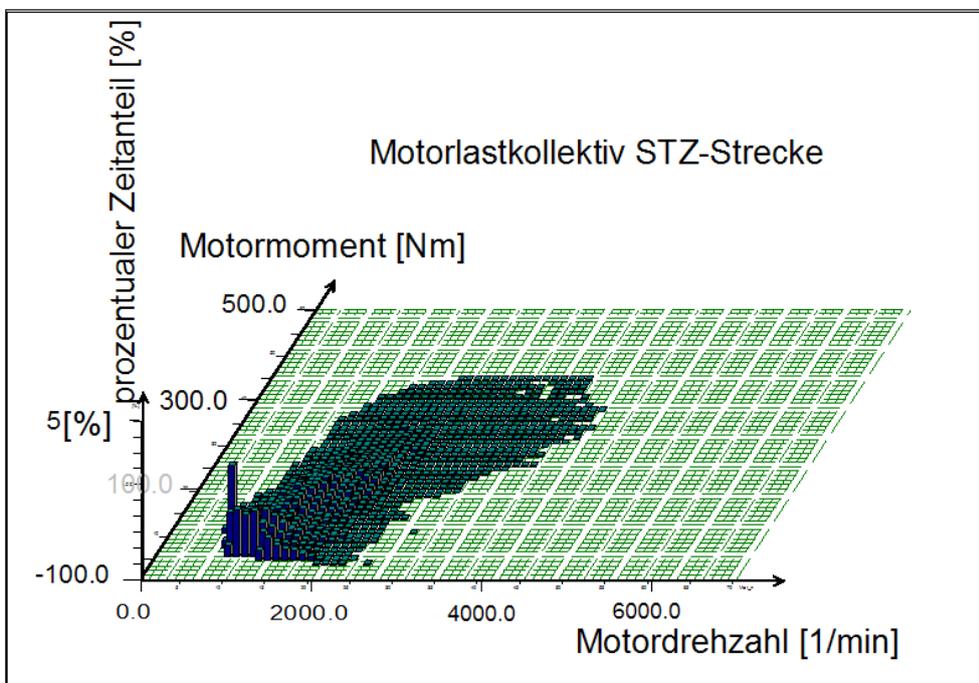


Bild 13: Prozentuale Zeitanteile von Motormoment und Drehzahl für die STZ-Strecke

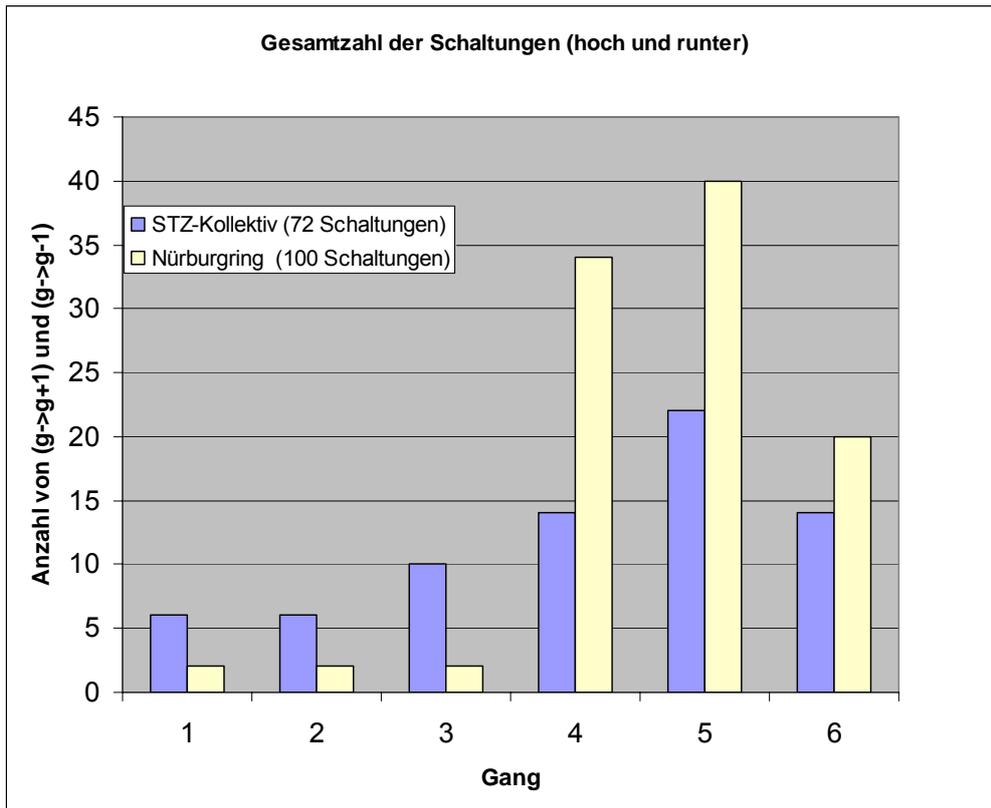


Bild 14: Gesamtanzahl der Schaltungen bezogen auf 20 km Fahrstrecke (Hoch und Runterschaltungen).

Die Anzahl der Schaltungen von und zu den einzelnen Gängen ist für eine Fahrstrecke von 20 km in Bild 14 dargestellt. Entsprechend der häufigen Geschwindigkeitswechsel bei hohen Geschwindigkeiten treten die größte Zahl der Schaltungen in den höheren Gängen auf. Auf der STZ-Strecke hingegen mit geringerer Fahrgeschwindigkeit sind auch mehr Schaltungen in den niedrigeren Gängen zu finden.

Für den Vergleich der Schwingweite des Getriebegelenkwellenmomentes wurde eine Normierung auf die Länge der Nürburgringstrecke vorgenommen, um einen direkten Vergleich mit den Daten der STZ-Strecke zu ermöglichen (Bild 16). Sowohl die Maximalwerte als auch die Fülligkeit des Kollektivs unterscheiden sich deutlich, so dass das Lastkollektiv des Nürburgrings zu einer Zeitraffung führen wird.

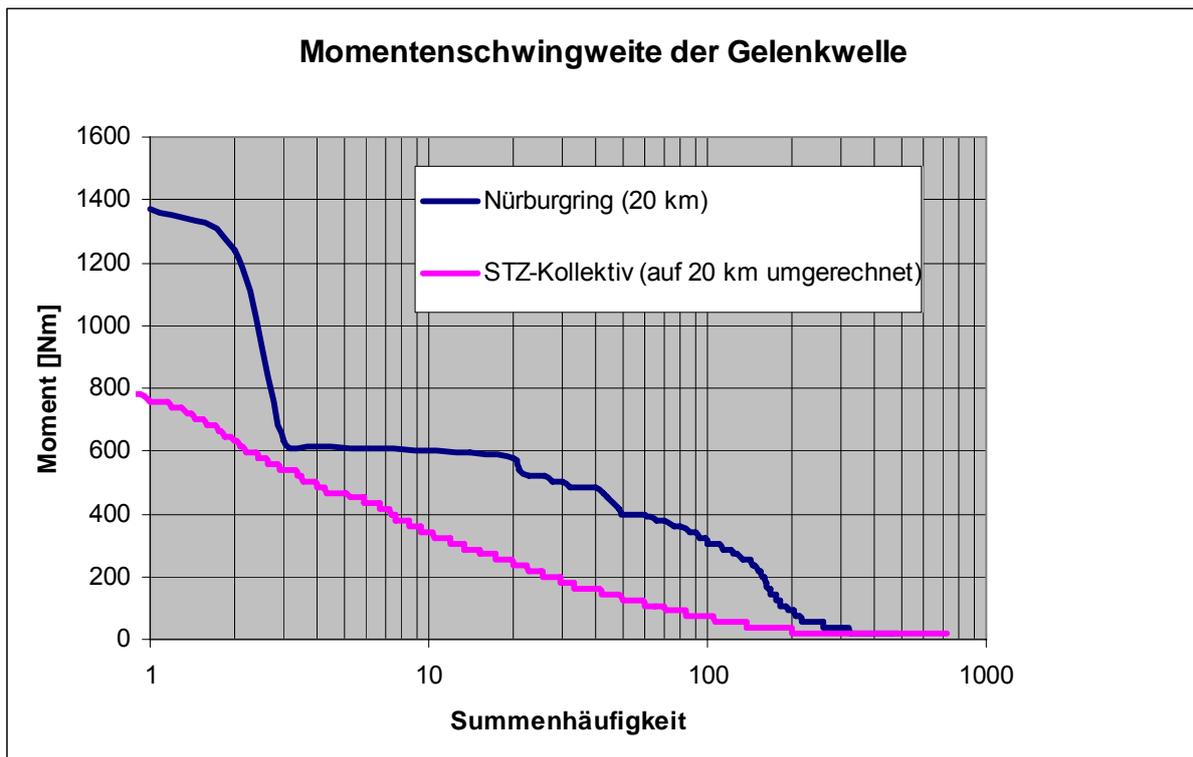


Bild 16: Spannenpaarzahl für die STZ-Strecke (auf 20 km normiert) und Nürburgring [1] (Länge 20 km).

Die äquivalente Volllaststrecke für die einzelnen Gänge (Bild 17) stellt die schädigungsgleiche Fahrstrecke unter Vollast in den einzelnen Gängen dar. Sie wird erhalten, indem die Schädigung des Gelekwellenmomentes gegen eine fiktive Wöhlerlinie ohne Dauerfestigkeit gerechnet wird. Die Bilder wurde nicht normiert, d.h. die STZ-Strecke gilt für eine Länge von 790 Kilometern, der Nürburgring weist 20 km Länge auf.

Man erkennt, dass die Schädigung auf dem Nürburgring im 2. bis 4. Gang. trotz der 20-fach kürzeren Strecke in der Größenordnung der Schädigung der STZ-Strecke liegt. Die Gänge 1 bis 3 werden auf dem Nürburgring praktisch nicht gefahren, so dass die davon ausgehende Belastung entsprechend gering ist.

Es ist wird deutlich, dass die Fahrt auf dem Nürburgring eine erhebliche Verschärfung darstellt, andererseits zeigt sich auch, dass die Verteilung der Ganghäufigkeiten vom normalen Fahrzeugeinsatz abweicht.

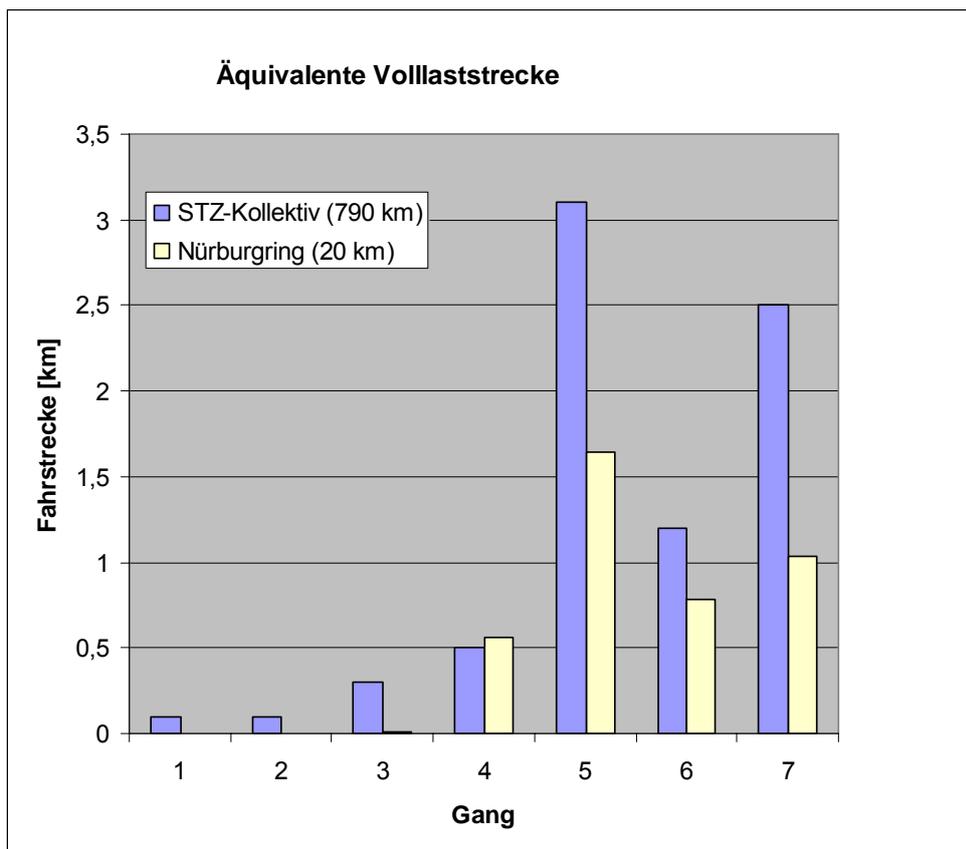


Bild 17: äquivalente Volllaststrecke für die STZ-Strecke und den Nürburgring.

6. Zusammenfassung

Die detaillierte Ermittlung von Lastkollektiven für Getriebe ist durch Kombination von Messdatenerfassung und Simulation einfach möglich. Es wurde das Belastungskollektiv des institutseigenen Fahrzeugs im Alltagsbetrieb detailliert untersucht und in Relation zu einem extremen Kollektiv verglichen. Grundsätzlich sein angemerkt, dass das STZ-Kollektiv als auch das Nürburgringkollektiv keineswegs in irgend einer Form repräsentativ sind, sondern sie wurden für den Vergleich ausgewählt, um ein möglichst großes Spektrum von Beanspruchungen vergleichen zu können.

Mit der hier dargestellten Systematik sollen für den weiteren Lebenszyklus des Fahrzeugs Daten erfasst werden, um Informationen über den Einsatz bei einem „normalen“ Endkunden zu erhalten. Dabei wird zukünftig auch eine Differenzierung nach Fahrstrecken und Fahrern erfolgen, was bisher aus Zeitgründen nicht möglich war. Auf diese Weise sollen Grundlagen geschaffen werden, die eine statistisch größere Basis zur Beurteilung von Fahrzyklen in Kundenhand und deren Auswirkungen erlauben.

7. Literaturverzeichnis

- [1] J. Greiner, C. Dörr, W. Klos, T. Schwämmle: Lastkollektive 7-Gang Automatikgetriebe W7A700, durchgängige Bewertung und Betrachtung im Entwicklungsprozess bei Mercedes-Benz, Getriebetagung Friedrichshafen, VDI-Berichte
- [2] Greiner, J.; Indlekofer, G.; Nauerz, H.; Dorfschmid, J.; Gödecke, T., Dörr, C.: Siebengangautomatgetriebe von Mercedes-Benz. In ATZ 105 (2003) Nr. 10, S.920-930.
- [3] Greiner, J.; Dörr, C.; Nauerz, H.; Graeve, M.: The new "7G-TRONIC" of Mercedes-Benz - Innovative transmission technology for better driving performance, comfort and fuel economy. SAW Paper No. 2004-01-0649, 2004.
- [4] Dresig, H.: Schwingungen mechanischer Antriebssysteme, Modellbildung, Berechnung, Analyse, Synthese, Springer Verlag Berlin, 2001
- [5] Willmerding, G.: Ein Simulationsmodell für den Antriebsstrang, Teil 2. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, Heft 6, 1992
- [6] Willmerding, G.: winEVA-Handbuch, 1999, Steinbeis Tz-Verkehrstechnik, Ulm
- [7] Willmerding, G; Häckh, J; Berthold, A: Driving Cycle, Load and Fatigue Life Predictions based on measured Route Data , Vortrag auf der ATT-Tagung in Barcelona 2001, SAE-Paper 01ATT120
- [8] Häckh, J.; Willmerding, G.; Kley, M.; Binz, H.; Körner, T.: Rechnerische Lebensdauerabschätzung von Getriebegehäusen unter Einbeziehung realer multiaxialer Belastungen, DVM-Tagung Fulda vom 5. bis 6.6.2002, VDI-Berichte N2. 1689, 2002 Seite 303 - 317

[9] Körner, T.; Depping, H.; Häckh, J.; Willmerding, G.; Klos, W.: Rechnerische Lebensdauerabschätzung unter Berücksichtigung realer Belastungskollektive für die Hauptwelle eines Nutzfahrzeuggetriebes, DVM-Tagung Fulda vom 5. bis 6.6. 2002, VDI-Berichte N2. 1689, 2002 Seite 275 - 285

[10] Körner, T.; Depping, H.; Häckh, J.; Willmerding, G.: Fatigue Life Prognosis for Transmissions based on critical Component Spectrum, World Automotive Congress FISITA 2002, Helsinki, Paper Nr. F02V091

[11] Willmerding, G.; Dietzel, B.; Körner, T.: Rechnergestützte Entwicklung von Schaltprogrammen für Automatikgetriebe, 3. Stuttgarter Symposium Kraftfahrwesen und Verbrennungsmotoren 1999, Universität Stuttgart, Seite 843 - 856, ISBN-Nr. 3-8169-1751-8

[12] Klos, W.: Gruppenschaltungsansteuerung von Nutzfahrzeuggetrieben, Dissertation 2004, Universität Stuttgart, Institut für Maschinenkonstruktion und Getriebebau Bericht Nr. 508, ISBN 3-922 823-60-2

[13] NN: Benutzerhandbuch winADAM, Steinbeis-TZ Verkehrstechnik, www.stz-verkehr.de, 2004

[14] Jakob Häckh, Wolfgang Klos, Günter Willmerding: Bestimmung der Lastkollektive für Kraftfahrzeuggetriebe durch Kombination von Messung und Simulation, Tagung des Haus der Technik, Augsburg 2005,

[15] Lückert, P.; Waltner, A.; Rau, E; Vent, G; Wolf, C: Der neue V6-Otto-Motor M 272 von Mercedes Benz, Motortechnische Zeitschrift 6/2004 Seite 436 bis 452.

[16] Internetadresse: <http://earth.google.com/>