

# **Auslegung komfortoptimaler LKW - Fahrerhauslagerungen**

**Wolfgang Hirschberg  
Karl Hofer**

**STEYR - DAIMLER - PUCH AG.  
Technologie Zentrum**

**3. Internationales IVSS Kolloquium  
"Vibration am Arbeitsplatz"  
19. - 21. April 1989, Wien**

# Auslegung komfortoptimaler LKW-Fahrerhauslagerungen

Wolfgang Hirschberg und Karl Hofer  
Steyr-Daimler-Puch AG., Technologie Zentrum

## 1. Einleitung

Weiterhin steigende Anforderungen an den Fahrkomfort am "Arbeitsplatz Nutzfahrzeug" erfordern es, der schwingungstechnischen Auslegung von Lastkraftwagen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Der komplexe Begriff "Fahrkomfort" ist in diesem Zusammenhang an drei unterschiedlichen Kriterien zu messen.

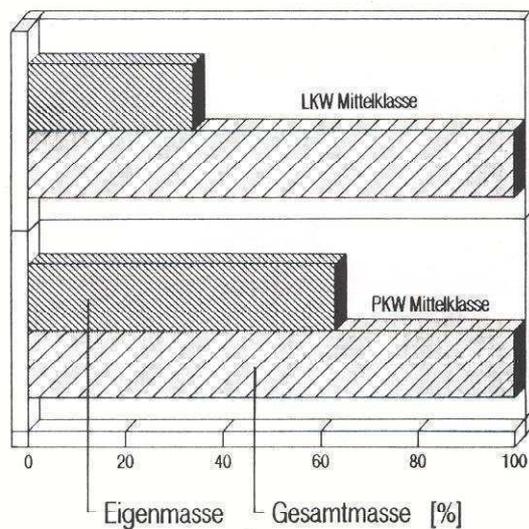
Fahrkomfort orientiert sich einerseits an der Wahrnehmung der mechanisch spürbaren, **tieffrequenten Fahrzeugbewegungen**, die auch im Zusammenhang mit Fahrbahnkontakt und Kurshaltung, d.h. den **Fahreigenschaften** (Handling) des jeweiligen Fahrzeugs stehen. Schließlich beeinflussen auch die hörbaren, **hochfrequenten Schallemissionen** den Komfort des Fahrzeugs wesentlich.

Während die Behandlung des Schallbereiches weiterhin überwiegend der Meßtechnik vorbehalten ist, gelingen im ersteren Fall durch den kombinierten Einsatz von Rechnung und Messung die rasche und zielführende Umsetzung von komfortoptimalen Auslegungen, worüber im folgenden in kurzer und übersichtsartiger Weise berichtet werden soll.

## 2. Problemstellung

Im Vergleich zu den Kraftfahrzeugen zur Personenbeförderung (PKW's und Omnibusse) erweisen sich für Nutzfahrzeuge komfortverbessernde Maßnahmen als erheblich schwieriger durchführbar. Dies liegt vor allem in den folgenden Gegebenheiten begründet:

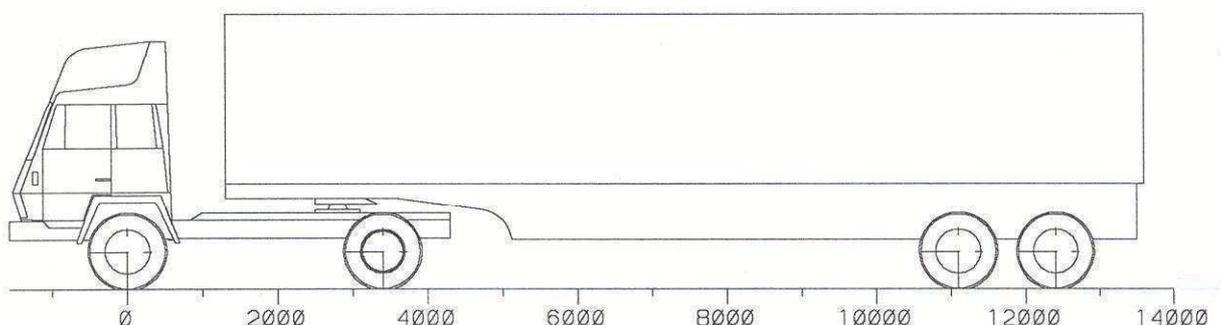
- Nutzfahrzeuge weisen eine deutlich größere Spannweite des Verhältnisses Eigen- zu Nutzmasse auf, Bild 1;
- Nutzfahrzeuge sind durch eine große Vielfalt konstruktiv unterschiedlicher Aufbauvarianten gekennzeichnet.



Insbesondere sind beim LKW die komfortdominanten Konstruktionsgrößen Fahrzeugfederung und -dämpfung infolge der jeweiligen Transportaufgabe von vornherein festgelegt und - im Gegensatz zum PKW - in nur sehr engen Grenzen variabel. Durch eine schwingungsentkoppelte Anordnung des Fahrerhauses auf dem Fahrzeug läßt sich diese nachteilige Situation jedoch weitgehend kompensieren.

**Bild 1:** Vergleich Eigen- zu Gesamtmasse PKW - LKW

Bezüglich der Schwingungen von Nutzfahrzeugen ist bekannt, daß die Sattelzüge zu jenen Bauformen gehören, deren schwingungstechnische Abstimmung besondere Aufmerksamkeit erfordert, [4]. Die spezielle Problematik von Sattelzügen resultiert aus dem kurzen Radstand des im allgemeinen leichten Zugfahrzeugs, welches für den Transport schwerer Sattelaufleger mit hoher Fahrgeschwindigkeit auszulegen ist. Diese Klasse von Nutzfahrzeugen soll im folgenden betrachtet werden, siehe Bild 2.



**Bild 2:** Schwerer LKW-Sattelzug (Meßfahrzeug)

### 3. Rechnerische Untersuchung der Komforteigenschaften

Der kombinierte Einsatz rechnerischer und experimenteller Verfahren für die Komfortoptimierung ist aus mehreren Gründen sinnvoll und nützlich:

- Mit einem einmal entwickelten und anhand von Meßresultaten geeichten Simulationsmodell lassen sich beliebige Parametervariationen mittels Computerunterstützung rasch und kostengünstig simulieren und deren Einflüsse studieren;
- Die Ergebnisse derartiger Simulationen erlauben die Zusammenstellung ganzer "Maßnahmenpakete", wodurch das nachfolgende Meßprogramm besser geplant und gezielter durchgeführt werden kann.
- Insbesondere lassen sich in den Berechnungen auch die Wirkungen einflußschwacher Parameter erkennen, deren meßtechnische Auflösung im allgemeinen Schwierigkeiten bereiten.

Im Technologie Zentrum der Steyr-Daimler-Puch AG. befindet sich für diese Zwecke ein umfassendes Programmsystem im Einsatz, dessen Aufbau im einzelnen in [3] beschrieben ist. Die dem Simulationsprogramm zugrundeliegende Modellbildung entspricht der Methode der **starr-elastischen Mehrkörpersysteme**.

Damit lassen sich räumliche Ersatzsysteme aufbauen, die - wie im vorliegenden Fall - aus verhältnismäßig starren Teilkörpern (Motor, Fahrzeugachsen, Fahrerhaus) und elastischen Teilstrukturen (biege- und torsionselastischer Fahrzeugrahmen) bestehen. Das hier verwendete Fahrzeugmodell ist in Bild 3 dargestellt; Einzelheiten über seine Modellbildung findet man in [4] und [5].

Die 15 Teilkörper des Sattelzugmodelles verfügen über  $f = 47$  mechanische Freiheitsgrade.

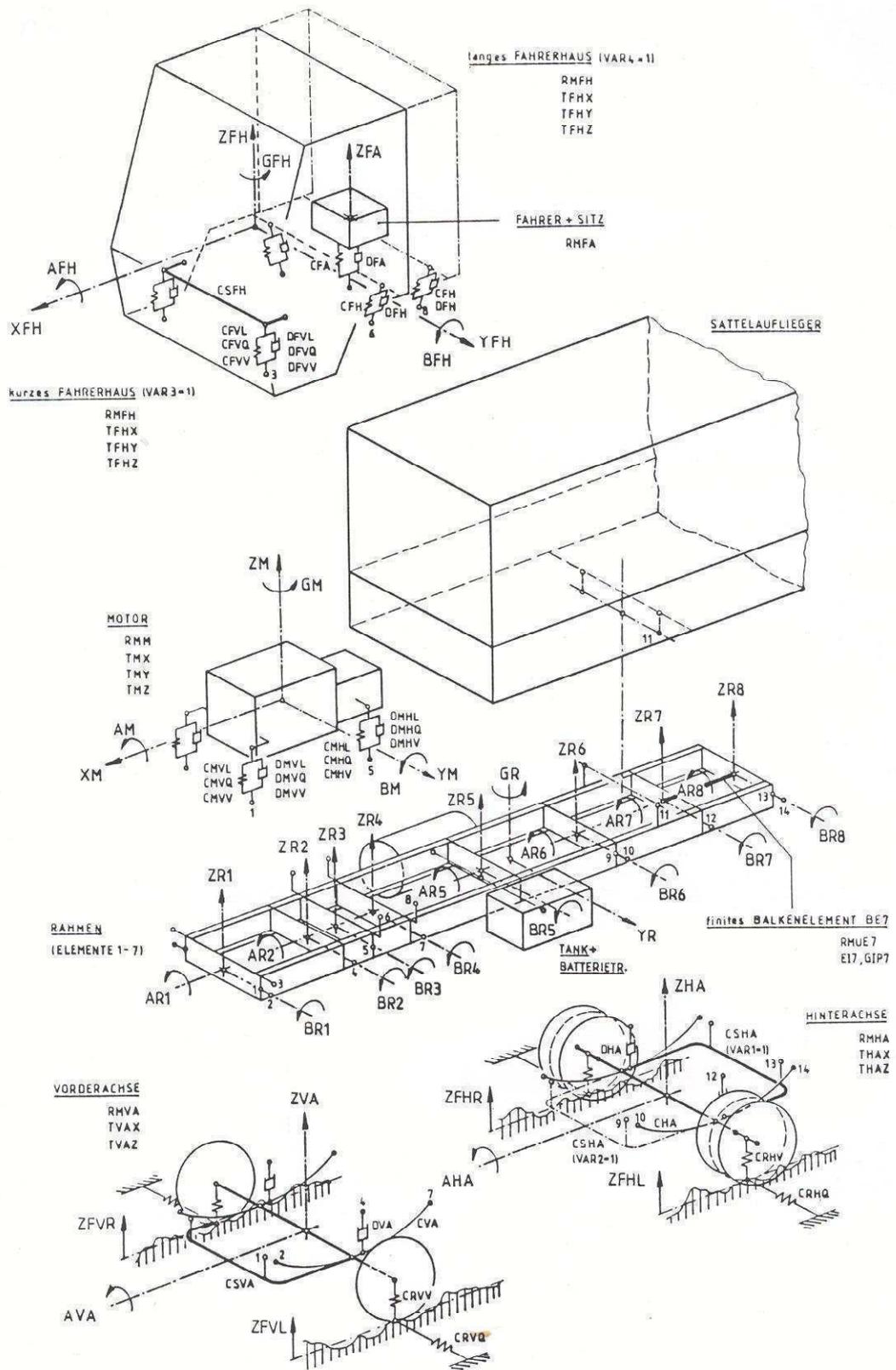
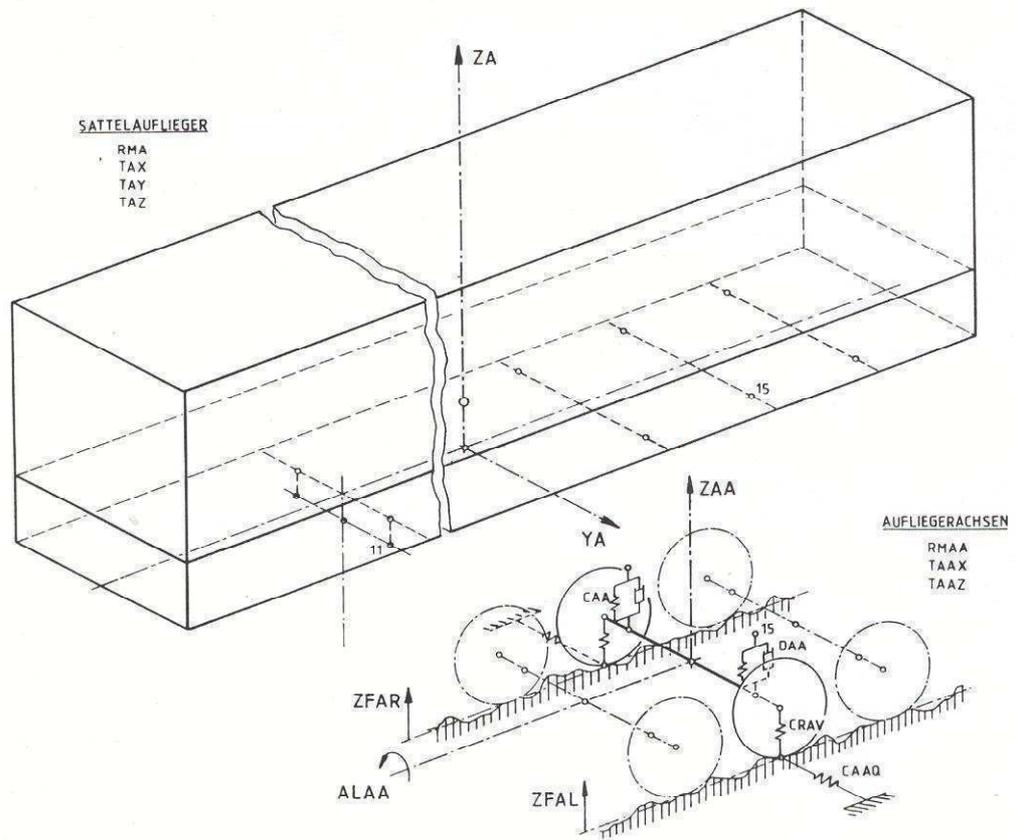
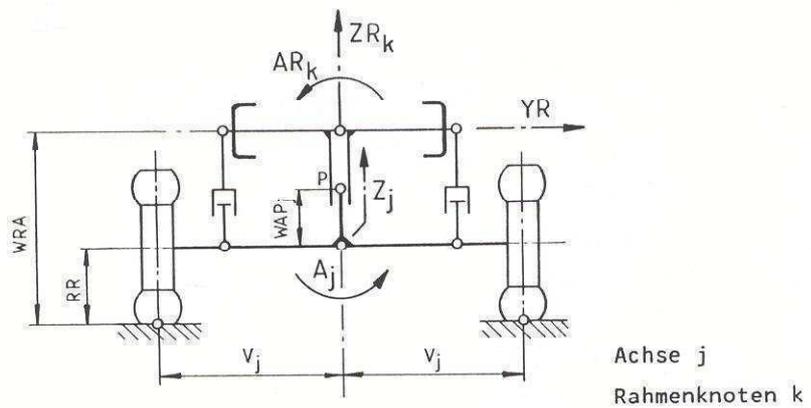


Bild 3a): Räumliches Modell des Zugfahrzeugs



**Bild 3b):** Räumliches Modell des Sattelauflegers



**Bild 3c):** Modell einer Fahrzeugachse

Die programmtechnische Realisierung der Schwingungsberechnung ist in [3] und [4] beschrieben und in Bild 4 übersichtsartig dargestellt. Dem Kernmodul KOVA liegt die Methode der Kovarianzanalyse zugrunde, welche die Berechnung der über die Fahrbahn angeregten Zufallsschwingungen in effizienter Weise ermöglicht. Dabei lassen sich insbesondere realistische Fahrbahntypen berücksichtigen, wie sie z.B. in ISO/TC108 durch Breitbandprozesse standardisiert sind. Als Kenngrößen zur Beurteilung der Fahrzeugschwingungen stehen als Ergebnis die Streuung der an beliebigen Punkten auftretenden Schwingwege  $\sigma_w$ , -geschwindigkeiten  $\sigma_v$  und -beschleunigungen  $\sigma_a$ , sowie die subjektive Kenngröße K der nach VDI 2073, [7] bewerteten Beschleunigungsgrößen zur Verfügung, siehe Bild 5.

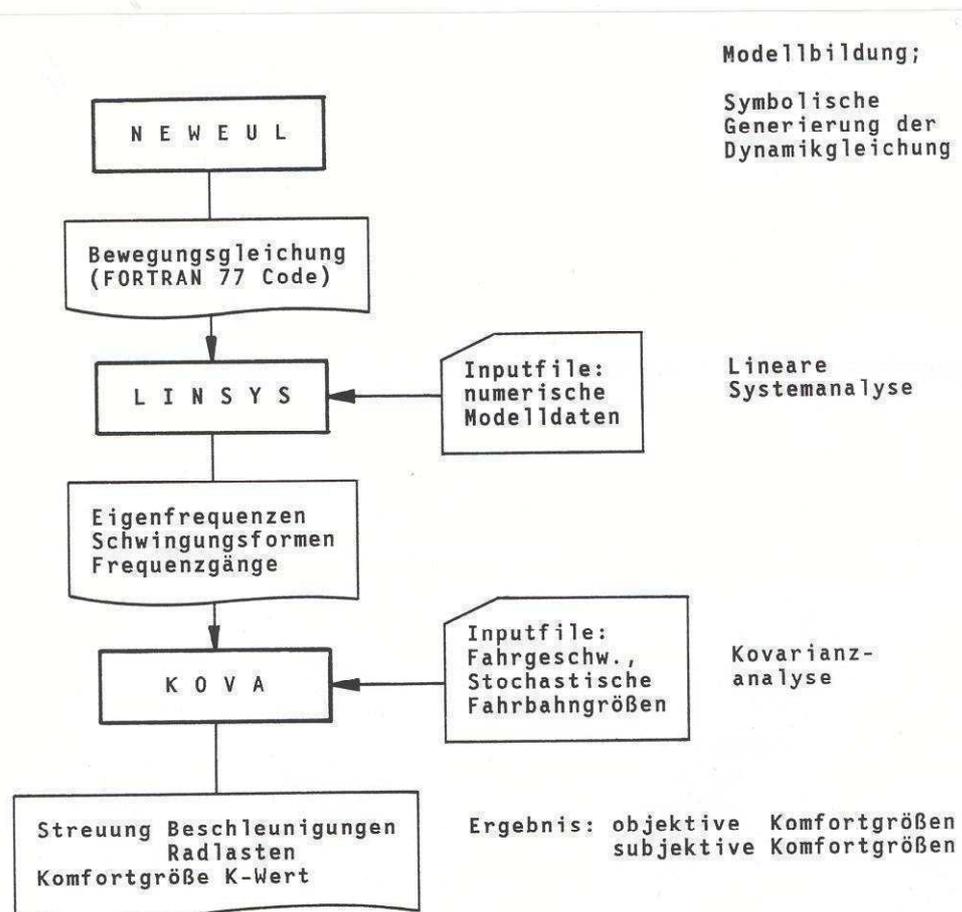


Bild 4: Programmsystem zur Berechnung von stochastischen Fahrzeugschwingungen

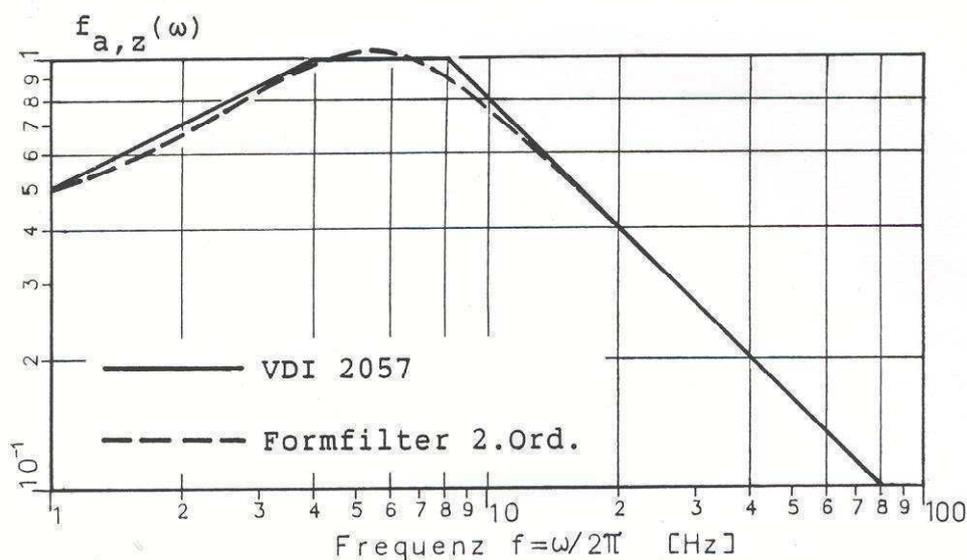


Bild 5: Bewertungsformfilter

#### 4. Meßtechnische Quantifizierung von Komforteigenschaften

Die meßtechnisch Quantifizierung von Komforteigenschaften von Fahrzeugen beruht gleichermaßen auf der Bestimmung der nach VDI 2057, [7] festgelegten Komfortkenngröße, dem K-Wert. Die am Fahrzeug punktuell gemessenen Beschleunigungen sind mit dem entsprechenden Formfilter gemäß Bild 5 zu bewerten und durch Integration in den K-Wert überzuführen. Die praktische Realisierung kann anhand verschiedener Verfahren erfolgen. So stehen am Markt bereits Geräte zur Verfügung, die sich digitaler bzw. analoger Filterungstechniken bedienen und in "Echtzeit" den K-Wert zur Anzeige bringen.

Bei Steyr-Daimler-Puch erfolgt die meßtechnische K-Wertbestimmung durch Signalnachverarbeitung mittels eines Personalcomputers mit dem dafür entwickelten Programm KOMFAK. Dabei werden die bei der Messung auf Magnetband aufgezeichneten Beschleunigungen zunächst digitalisiert, auf dem digitalen Speichermedium abgelegt und anschließend einer Blockverarbeitung zugeführt. Bei der Blockverarbeitung wird das vorliegende Zeitsignal mittels FFT in den Frequenzbereich mit 0,1 Hz Frequenzauflösung übergeführt. Die Mittelung über längere Zeitabschnitte erfolgt im spektralen Bereich und führt zu einem gemittelten Amplitudenspektrum, welches mit dem in VDI 2057 angegebenen Formfilter bewertet wird und damit ein sogenanntes K-Wertspektrum ergibt, Bild 9. Die Summation der einzelnen Werte dieses K-Wertspektrums in

dem zur Beurteilung festgelegten Frequenzbereich von 1 Hz bis 80 Hz ergibt den eigentlich zu bestimmenden K-Wert.

Für vergleichende Untersuchungen sind Meß- bzw. Beurteilungswerte mit geringer Streubreite erforderlich. Bei genauest möglicher Einhaltung der wesentlichen Versuchsparameter wie Geschwindigkeit, Fahrbahntyp und Fahrzeugzustand unterliegt der K-Wert für verschiedene Meßfahrten einer Streuung von  $\pm 1$  wie in Bild 6 zu sehen ist.

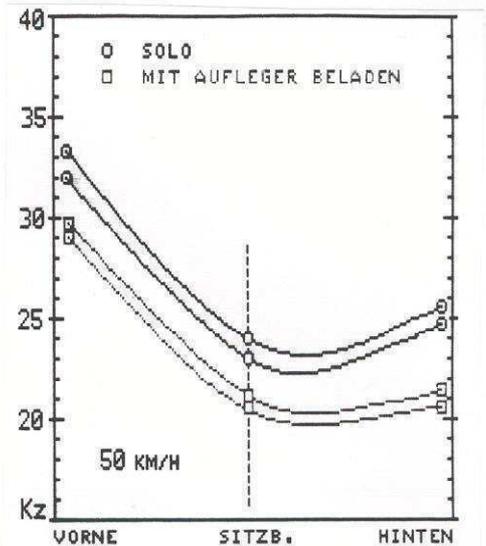


Bild 6: Versuchsstreuung

Bei gleichem Straßenprofil übt die Fahrgeschwindigkeit einen wesentlichen Einfluß auf den K-Wert aus, siehe Bild 7. Daher sind K-Werte, die aus Meßfahrten mit Verkehrsbeeinträchtigungen ermittelt werden, kaum für eindeutig gesicherte Vergleichswerte geeignet. Bei einer optimierten Fahrerhauslagerung läßt sich die Geschwindigkeitsabhängigkeit zwar leicht reduzieren, sie bleibt jedoch immer noch als signifikanter Einfluß bestehen.

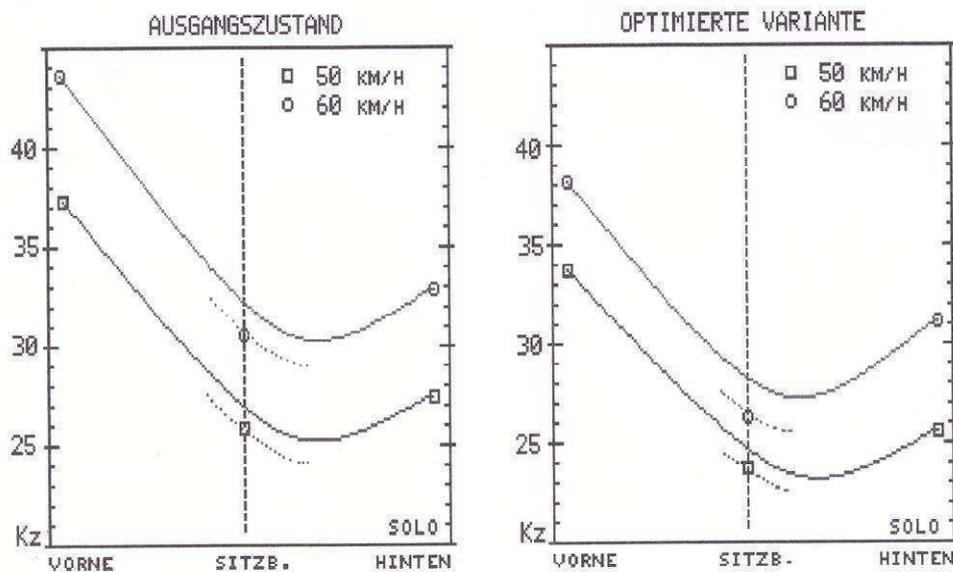


Bild 7: Geschwindigkeitseinfluß auf den Komfort

Des weiteren wirkt sich der Beladungszustand eines Nutzfahrzeuges auf den Komfortwert deutlich aus, siehe Bild 8. Beim Sattelzugfahrzeug zeigt sich, daß für den Fahrer die ungünstigste Komfortsituation dann vorliegt, wenn er die Zugmaschine alleine bewegt. Bei Fahrten mit leerem, aufgesatteltem Auflieger nimmt der K-Wert deutlich ab, während er bei Fahrt mit voll beladenem Auflieger wieder ansteigt.

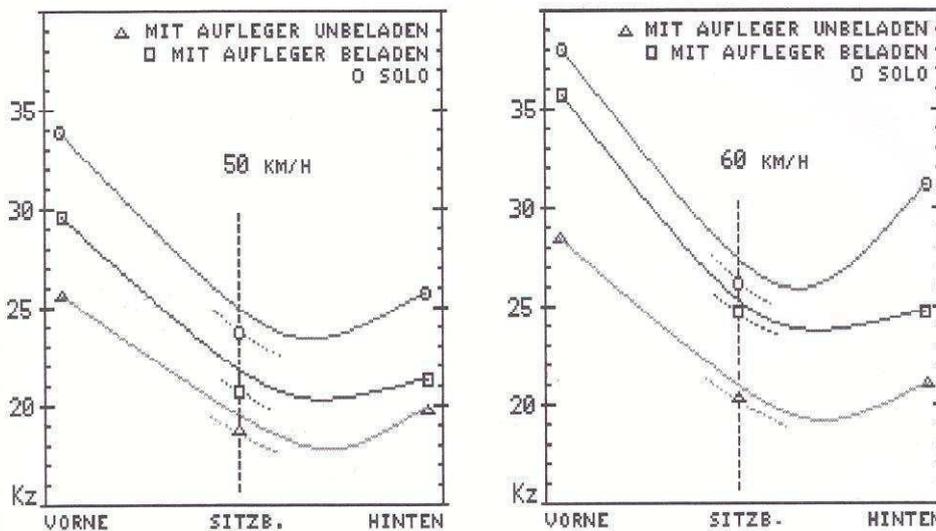


Bild 8: Einfluß der Beladung auf den Komfort

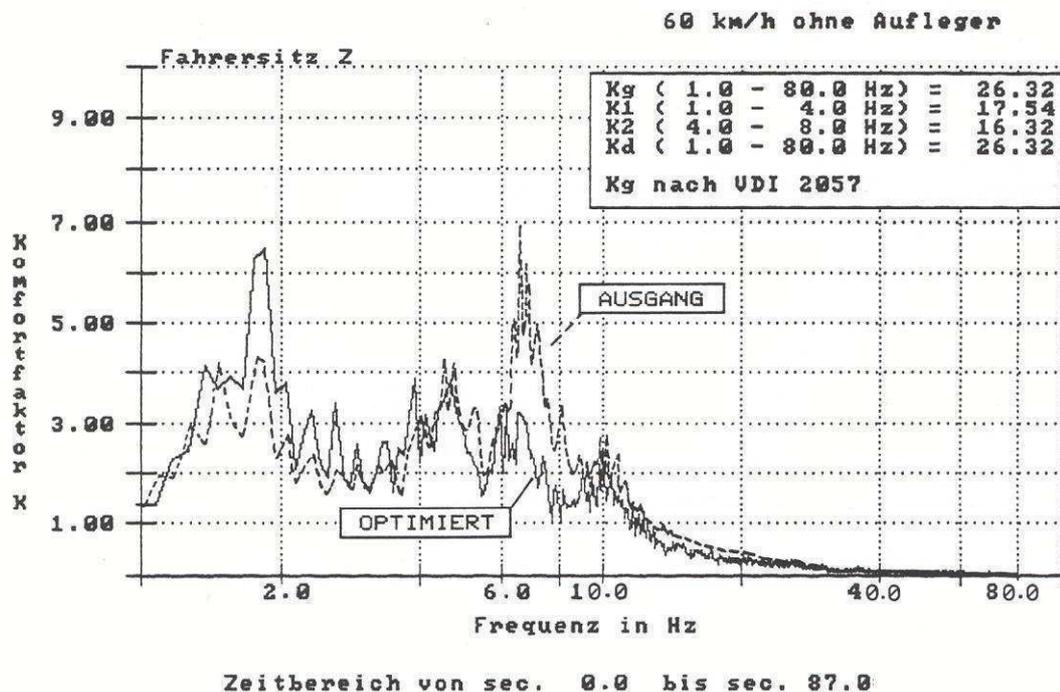


Bild 9: K-Wertspektrum

Die Wirkung der komfortverbessernden Maßnahmen, welche mit der beschriebenen Simulationsrechnung getroffen wurden, lassen sich am besten an Hand eines gemessenen K-Wert-spektrums, Bild 9, zeigen. Die spektralen Anteile im Bereich zwischen 6 und 9 Hz sinken deutlich ab, gleichzeitig erhöhen sich tieffrequentere Komponenten im Bereich von 2 Hz, was in Summe zu einem niedrigeren K-Wert und entsprechend auch zu einem subjektiv besser beurteilten Fahrkomfort führt.

#### **5. Konstruktive Umsetzung komfortoptimierender Maßnahmen**

Mit den beschriebenen und kombiniert eingesetzten Berechnungs- und Meßverfahren wurden am schweren LKW-Sattelzug Steyr-Daimler-Puch Typ 16S34, Bild 2, umfangreiche Untersuchungen vorgenommen. Von einer Ausgangsversion abgeleitet, konnten komfortverbessernde Maßnahmen auf rechnerischem Wege erarbeitet, und mittels des umgebauten Versuchsfahrzeuges meßtechnisch nachgewiesen werden.

Als Referenz-Fahrstrecke mittlerer Güte diente die Landstraße Thalling - Neu Gablonz, die zum Zeitpunkt der Messungen noch mit einem mehrfach ausgebesserten Asphalt älterer Bauart beschichtet war.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die folgenden konstruktiven Maßnahmen zum komfortablen Fahrverhalten schwerer LKW-Sattelzüge führen:

- Anordnung einer luftgedephten Hinterachse des Zugfahrzeuges; dies verhindert das "auf Anschlag gehen" konventioneller Federungen bei schwerer Beladung.
- Anordnung einer reibungsarmen Parabelfederung an der Vorderachse des Zugfahrzeuges; die Feder wird innerhalb der konstruktiven Grenzen optimal weich ausgelegt.
- Langhubige, tieffrequent abgestimmte Fahrerhauslagerung zur Abkopplung von den übrigen Fahrzeugbewegungen; hierbei ist insbesondere auf die Gewährleistung aller Bedienungsfunktionen in Hinsicht auf die großen Relativbewegungen zwischen Fahrerhaus und Fahrzeug zu achten.
- Anordnung von reibungsarmen, tieffrequent abgestimmten, luftgedephten Fahrersitzen.

Schrifttum

- [1] ISO: Standard ISO/TC 108/SC 2N67, 1984
- [2] ISO: Standard ISO 2631/DAM 1  
Guide for the evaluation of human exposure to  
whole-body-vibration; Amendment 1, 1980
- [3] Hirschberg W. :  
Kurzbeschreibung der Programme LYNSIS, SIMULA und KOVA  
Forschungsbericht FB-0139/87, Steyr-Daimler-Puch AG.
- [4] Hirschberg W., Reichweger J. :  
Rechnerische Optimierung von Komfort und Fahrsicherheit  
von Nutzfahrzeugen.  
VDI-Berichte 613, S. 309-327, VDI-Verlag, Düsseldorf 1986
- [5] Moser F. :  
Rechnerische Komfortuntersuchungen von Lastkraftwagen auf  
stochastisch unebenen Fahrbahnen.  
Diplomarbeit TU - Wien;  
Forschungsbericht Q-FO.0123/1986, Steyr-Daimler-Puch AG.
- [6] ÖNORM S 9010:  
Bewertung der Einwirkung mechanischer Schwingungen und  
Erschütterungen auf den Menschen - Ganzer Körper, 1982
- [7] VDI 2057, Blatt 2  
Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf  
den Menschen. Schwingungseinwirkung auf den menschlichen  
Körper, Mai 1981