

# ALLGEMEINE GESETZMÄßIGKEITEN DER STATISTIKEN DEP STRAßEN-FAHRZEUGBEANSPRUCHUNGEN UND DEREN VORAUSBERECHNUNG

Von

E. JÁNOSDEÁK, A. KERESZTES und P. MICHELBERGER

Lehrstuhl für Mechanik. Technische Universität Budapest

Eingegangen am 10. Oktober. 1980

## Einleitung

Die Entwicklung der Straßen-Fahrzeugstrukturen (Karosserie und Fahrgestell) auf Lebensdauer und Zuverlässigkeit ist mit erheblichen Schwierigkeiten zweierlei Art verbunden: eine noch immer nicht genügende Kenntnis der Materialermüdungserscheinungen, und eine oft mangelhafte Abschätzungsmöglichkeit der im Betrieb auftretenden Beanspruchungen und Belastungen [1, 2].

All das trotz der Tatsache, daß hochentwickelte Programmsysteme heutzutage die dynamische Berechnung von komplexen Fahrzeugstrukturen ermöglichen, daß die Kenntnis der spektralen Eigenschaften der Straßen weit vorangeschritten ist [3], und daß zur Untersuchung von Prototypen Versuchsgelände mit gut definierten spektralen Eigenschaften zur Verfügung stehen [4]. Doch zur Aufstellung von wirklichkeitsnahen Lastkollektiven und anderen statistischen Merkmalen der Belastungen, den Zeitspannen, die der Fahrzeughaltbarkeit nahekommen, muß bekannt sein, wie oft, mit welchen Belastungen und mit welcher Geschwindigkeit auf Straßen verschiedener Beschaffenheit gefahren wird. Dies ist gegenwärtig eine Frage der meßtechnisch auf langen Zeitspannen schwierigerwerbbarer und aufbereitbaren Betriebserfahrung. Es wird gezeigt, daß beim Entstehen der Lastkollektiven sehr umfassende Gesetzmäßigkeiten wirken, die sich im wesentlichen auf das Fahrverhalten zurückführen lassen, die auf eine bisher nicht gekannte Funktionsweise von Mensch-Fahrzeugsystemen deuten, und die Überwindung der rein empirischen Vorgehensweisen ermöglichen.

## Einige umfassende Gesetzmäßigkeiten der Lastkollektiven und deren Zusammenhang mit dem Fahrerverhalten

Es ist eine ziemlich weit verbreitete Erfahrung, daß die an Fahrzeugen meßbaren Signale auf kurzen Fahrstrecken — soweit die Geschwindigkeit und die Straßenbeschaffenheit als konstant angesehen werden können — Gauss-

sche Signale mit entsprechenden Verteilungen der Durchschritzungszahlen der Signalniveaus oder angenähert der Verteilungsdichten der Spitzen sind, während sich nach der Zurücklegung von mehrere hundert Kilometer langen Fahrstrecken exponentielle Verteilungen ergeben [5]. Für das Zustandekommen solcher Mischverteilungen ist die Voraussetzung einerseits eine Gaußsche Dichtefunktion der Effektivwerte mit einer Streuung gleich  $\alpha^{-1}$ , wenn  $\alpha$  der konstante Parameter der exponentiellen Verteilungsfunktion  $e^{-\alpha y}$  ist, andererseits die Invarianz der spektralen Charakter (des Frequenzabhängigkeitsgesetzes) des Signals. Um die Zusammenhänge näher klären zu können, wurden zwei Meßreihen mit einem Reiseomnibus auf zwei Fahrstrecken von je 1000 km Länge im Überlandverkehr, etwa halbtags auf Autobahn, halbtags auf Landstraße und mit immer denselbem Fahrer durchgeführt. Verteilungs-

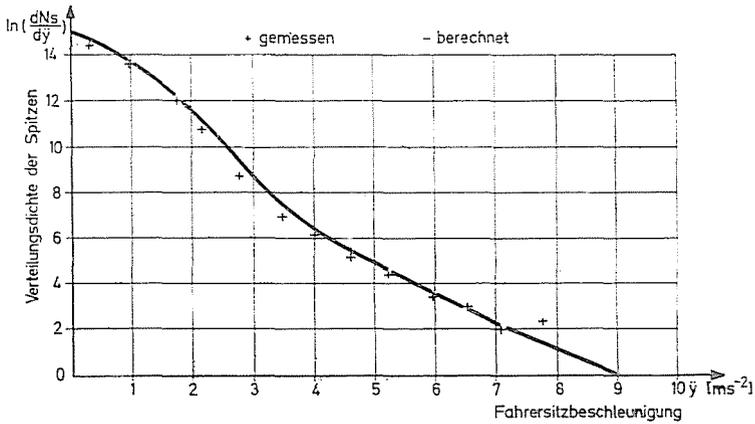


Abb. 1. Verteilungsdichte der Fahrersitzbeschleunigung

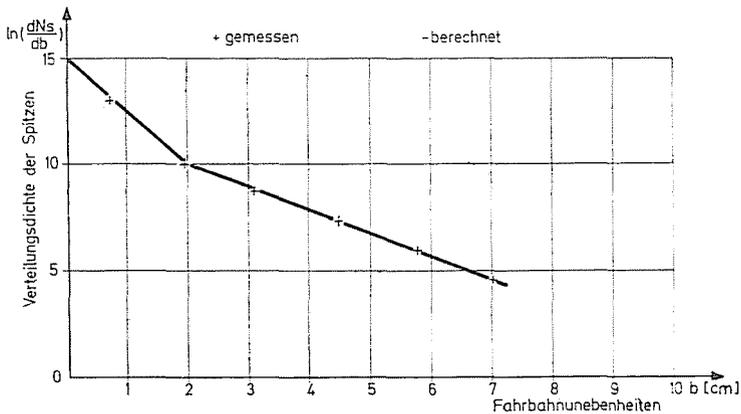


Abb. 2. Verteilungsdichte der Fahrbahnunebenheiten

dichten  $dN_s/dy$  der Spitzen (nur bei positiven Signalwerten, mit  $N_s$  als absolute Zahl der Spitzen während einer Meßreihe) von der an der Sitzfläche gemessenen Fahrersitzbeschleunigung ( $\ddot{y}$ ), von einem Radeaufstandspunkt-Eingangssignal ( $b$ ) und einer Spannung ( $\rho$ ) in dem rechten Längsträger des Bodenrahmens sind auf den Abb. 1—3 und bezüglich der zweiten Meßreihe auf Abb. 4 dargestellt. Die Kurven zeigen einen charakteristischen Knick, und auch streckenweise sind nur als näherungsweise exponentiell anzusehen. Diese Merkmale sind sehr allgemeingültig, verändern sich, wie die Resultate in Abb. 5—6 nach einer weiteren Meßreihe von ebenfalls 1000 km Länge es zeigen, nicht einmal bei Stadtomnibussen im dichtesten Stadtverkehr, sie sind sogar bei einem viel weiteren Kreis von Fahrzeuggattungen anzutreffen, als Omnibusse oder Straßenfahrzeuge.

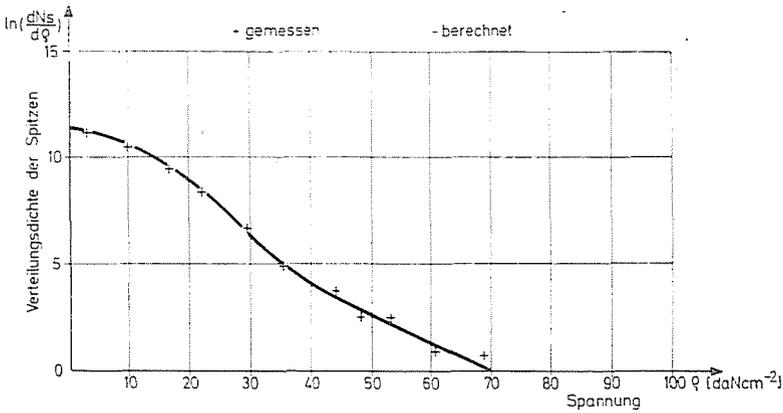


Abb. 3. Verteilungsdichte der Spannungen

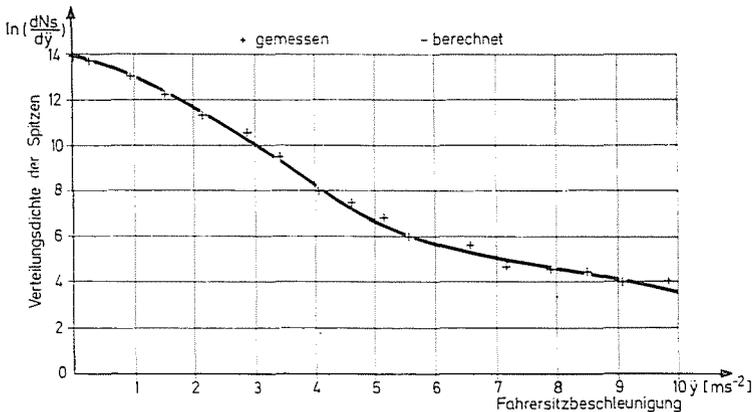


Abb. 4. Verteilungsdichte der Fahrersitzbeschleunigung

Die von uns erarbeitete interdisziplinäre Theorie, wie folgt, läßt eine qualitative und quantitative Klärung der erwähnten Erfahrungen zu.

Im Rahmen einer Makroanschauung kann angenommen werden, daß die Leistungsdichtespektren von Straßen verschiedenster Beschaffenheit sich durch die bekannte Formel [6]

$$S(f) = v^{w-1} \cdot S_0 \cdot f^{-w} \quad (1/a)$$

$$w \approx 2 \quad (1/b)$$

mit guter Annäherung charakterisieren lassen, wo  $v$  die Fahrgeschwindigkeit,  $f$  die Zeitfrequenz und  $S_0$  einen von der Straßenbeschaffenheit abhängigen Faktor bezeichnen. Diese Annahme ist unter Vernachlässigung der Veränderlichkeit der Kohärenz der zwei Radspuren und bei einer schwingungstechnischer Entkoppelung von vorder- und hinterachsseitigem Fahrzeugteil (was

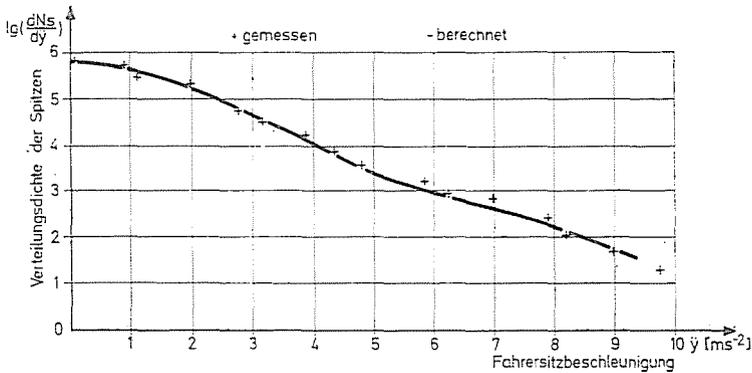


Abb. 5. Verteilungsdichte der Fahrsitzbeschleunigung

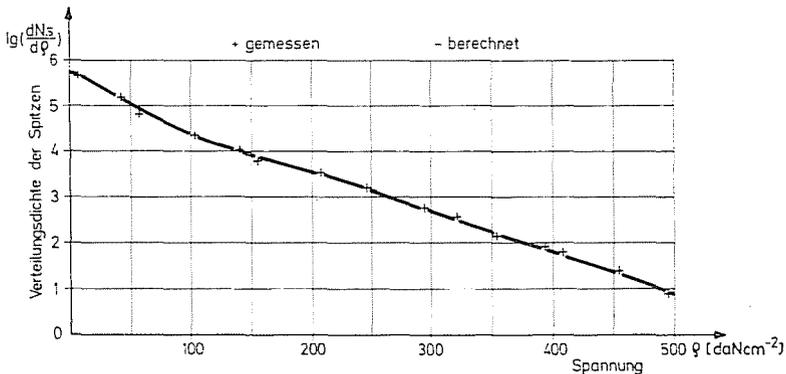


Abb. 6. Verteilungsdichte der Spannungen

z. B. bei Omnibussen meistens zufriedenstellend erfüllt ist) mit Invarianz der spektralen Charakter (des Frequenzabhängigkeitsgesetzes) der an der Fahrersitzfläche gedeuteten vertikalen Beschleunigungen gleichbedeutend, wenn das Fahrzeugsystem als linear und als gegeben betrachtet wird.

Bei so geschildertem spektralem Charakter seien nun durch eine Funktion  $\tau(\ddot{y}_e)$  die zusammengehörenden Wirkungszeit-Fahrersitzbeschleunigung Wertepaare, die einer gewissen konstanten subjektiven biomechanischen Schwingungseinwirkung (so wie z. B. die »Grenze der Annehmlichkeit« laut dem Geist der Norm ISO 2631.74-(E)) gehören, gegeben. Diese Funktion kann offensichtlich auch als das Produkt einer normierten Dichtefunktion  $h(\ddot{y}_e)$  mit einer Konstante  $\Theta_0$  gegeben werden:

$$\tau = \tau(\ddot{y}_e) = \Theta_0 \cdot h(\ddot{y}_e). \quad (2)$$

Führen wir nun den Begriff der relativen, subjektiven Schwingungseinwirkung  $K$  (etwa analog zum linearen Schadenakkumulationsbegriff) nach

$$dK = \frac{dt}{\tau} \quad (3)$$

ein, wo

$$dt = T \cdot g(\ddot{y}_e) d\ddot{y}_e \quad (4)$$

die elementare Zeit im Bereich  $d\ddot{y}_e$  in der Umgebung von  $\ddot{y}_e$  während der Absolvierung von Verkehrsaufgaben von der Dauer  $T$ , und mit einer tatsächlichen Effektivwertdichtefunktion  $g(\ddot{y}_e)$  bedeutet. Nach Substitution von (4) und (2) in (3) und nach geringer Umformung erhält man

$$\frac{dK}{d\ddot{y}_e} = \frac{T}{\Theta_0} \frac{g(\ddot{y}_e)}{h(\ddot{y}_e)}. \quad (5)$$

Wir behaupten, daß es eine fruchtbare Hypothese ist, daß der Fahrer bei der Absolvierung einer Verkehrsaufgabe ein solche Strategie bei der Wahl der Geschwindigkeiten auf den verschieden beschaffenen Straßen anwendet, daß das Integralkriterium mit einem konstanten Exponenten  $n$

$$I = \int_0^{\infty} \left( \frac{dK}{d\ddot{y}_e} \right)^n \cdot d\ddot{y}_e \quad (6)$$

zu einem Minimum wird. Nebenbedingung ist dabei offensichtlich, daß

$$\int_0^{\infty} g(\ddot{y}_e) d\ddot{y}_e = 1 \quad (7)$$

und daß die Verkehrsaufgabe auf einer gegebenen Linie fahrplanmäßig bewältigt wird. Da es sich in elementarer Weise beweisen läßt, daß bei einem nach der Weglänge genommenen Mittelwert des Koeffizienten  $\bar{S}_0$  der Straßen-

beschaffenheit und bei einer mittleren Reisegeschwindigkeit  $\bar{v}$  der Erwartungswert (der Zeit nach) der Varianz der Eingangssignale an den Radaufstandspunkten, und daher auch der Erwartungswert der Varianz der Fahrersitzbeschleunigung sich als

$$\bar{\sigma}_{\ddot{y}} = \text{Konst.} \cdot \bar{S}_0 \cdot \bar{v} \quad (8)$$

ausdrücken läßt unabhängig von der Verteilung der  $S_0$  Werte und unabhängig von der Strategie der Wahl der Geschwindigkeiten. Da der Erwartungswert der Varianz sich auch als Moment zweiter Ordnung der Effektivwerte ausdrücken läßt, können wir die zweite Nebenbedingung als

$$\int_0^{\infty} \ddot{y}_e^2 \cdot g(\ddot{y}_e) \cdot d\ddot{y}_e = \bar{\sigma}_{\ddot{y}} \quad (9)$$

formulieren. Die Lösung dieses Variationsproblems lautet

$$g(\ddot{y}_e) = C \cdot h^{\frac{n}{n-1}}(\ddot{y}_e) \cdot (1 + \xi \cdot \ddot{y}_e^2)^{\frac{1}{n-1}}. \quad (10)$$

Die Konstanten  $C$  und  $\xi$  wären aus den Nebenbedingungen berechenbar.

Wir behaupten noch, daß die Annahme einer im Sinne der bisherigen Betrachtungen regelungstechnisch als Soll-Dichtefunktion deutbaren Funktion

$$h(\ddot{y}_e) = 2 \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2\lambda}} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ - \frac{\ddot{y}_e^2}{2 \left( \frac{1}{\sqrt{2\lambda}} \right)^2} \right] \quad (11/a)$$

$$S_{\ddot{y}_e} = 1/\sqrt{2\lambda} \quad (11/b)$$

(wo  $S_{\ddot{y}_e}$  die Streuung der Effektivwerte ist) sich als eine weitere zweckmäßige Hypothese erwiesen hat. Es wäre vorzeitig für diese Dichtefunktion eine detaillierte Begründung zu geben, es steht aber wohl die Vermutung nahe, daß, da der Mensch ein äußerst komplexes System ist, bei der von ihm angestrebten Wahl der Effektivwerten additiv eine große Zahl von noch unbekanntem Wahrscheinlichkeitsvariablen mitwirkt, das nach dem zentralen Grenzwertsatz der mathematischen Statistik zu einer Normalverteilung führen kann. Über die Erfüllung der dabei notwendigen Nebenbedingungen können gegenwärtig keine Aussagen gemacht werden.

Ebenso scheint eine vielversprechende dritte Hypothese zu sein, daß ab einer kritischen Effektivwertgrenze herauf in Zusammenhang (10) eine Variabletransformation durch Einführung von  $(y_e/Q)$  statt  $y_e$  durchzuführen ist, wo  $Q > 1$  ist. Dies würde damit zusammenhängen, daß große Effektivwerte der Erfahrung nach ab einem Effektivwert  $y_{el}$  durch Impulse vertreten sind, welche im Frequenzbereich von 2–60 Hz von dem Menschen nach MIWA [7]

mit einer in  $dB$  ausgedrückten Verminderung ( $\Delta$ ) von

$$\Delta = 7 \log \frac{2}{\vartheta} \quad (12/a)$$

wahrgenommen werden, wo  $\vartheta$  den maßgebenden Impulsdauer bezeichnet. Nach MIWA ist als solche bei plötzlich ausgelösten, abklingenden harmonischen Schwingungsbeschleunigungen die Zeitdauer des den absoluten Spitzenwert enthaltenden Zyklus anzunehmen. Wir haben die Gültigkeit von (12) auf die Wahrnehmung von hervorragenden Spitzen enthaltenden Schwingungszyklen von stochastischen Schwingungen als Näherung ausgedehnt. Laut den Definitionen ist der Zusammenhang zwischen  $Q$  und  $\Delta$

$$Q = 10^{2\vartheta}. \quad (12/b)$$

Nach allen diesen Betrachtungen ergibt sich für die auf die Zeiteinheit bezogene Verteilungsdichte

$$\bar{q}_s(\ddot{y}) = \frac{1}{T} \cdot \frac{dN_s}{d\ddot{y}} \quad (13/a)$$

der relativen Maxima der Fahrersitzbeschleunigungen auf längere Zeitperioden (die bei unseren Versuchen drei Tage bei der Durchlegung von 1000 Kilometern bedeuteten)

$$\begin{aligned} \bar{q}_s(\ddot{y}) = & \int_0^{\dot{y}_{ek}} C_1 h^{\frac{n}{n-1}}(\ddot{y}_e) \cdot \left[1 + \xi \ddot{y}_e^2\right]^{\frac{1}{n-1}} q_s(\ddot{y}; \ddot{y}_e) d\ddot{y}_e + \\ & + \int_{\dot{y}_{ek}}^{\infty} C_2 h^{\frac{n}{n-1}}\left(\frac{\ddot{y}_e}{Q}\right) \cdot \left[1 + \xi \frac{\ddot{y}_e^2}{Q^2}\right]^{\frac{1}{n-1}} q_s(\ddot{y}; \ddot{y}_e) d\ddot{y}_e \end{aligned} \quad (13/b)$$

wo  $q(\ddot{y}; \ddot{y}_e)$  die bekannte, auf Zeiteinheit bezogene Verteilungsdichtefunktion der Spitzen der Gausschen Signalen ist, die bei invariantem spektralem Charakter der betrachteten Signale nur den Parameter  $\ddot{y}_e$  enthält, die sich aber auch in quasistationärer Weise verändert.  $C_1$  und  $C_2$  sind aus zwei Bedingungen berechenbar:

- die unter den Integralen stehende modifizierte Dichtefunktion muß wiederum den Zusammenhang (7) erfüllen:
- Stetigkeit der Dichtefunktion an der Stelle  $\ddot{y}_e = \dot{y}_{ek}$ .

Auf Grund von (13) haben wir die gemessene Verteilungsdichtefunktionen auf Abb. 1 und 4 durch probeweise Annahme von  $n$ ,  $\xi$ ,  $\dot{y}_{ek}$ ,  $S_{\dot{y}_e}$  und  $Q$  berechnet, was mit den in Tafel 1 enthaltenen Werten zu den in den Bildern eingetra-

genen Ergebnissen führte. Die Zahl der durch Probieren gewählten Parameter ist zwar groß, deren Überbestimmtheit durch die viel größere Anzahl der mit den Meßergebnissen sehr gut übereinstimmenden Rechenergebnissen erreicht aber ein solches Maß, daß eine Zufälligkeit der Übereinstimmung ausgeschlossen werden kann.

Es ist zu erwähnen, daß durch Anwendung der Formel von MIWA sich für das Überfahren eines Stufenprofils mit dem Stadtnimbus auf Grund von Simulationsversuche erhaltenen Fahrersitzbeschleunigungskurven ein Wert von  $Q = 1.5$  ergibt, während man mit einer Schwingungszykluszeit der Fahrerbesitzbeschleunigungen, die dem reziproken Wert des Erwartungswerts der in einer Richtung und in der Zeiteinheit der Nulldurchgänge  $15.978 = 0.1673$  s entspricht,  $Q = 2,383$  erhält. Auf diesem Gebiet ist noch weitere Forschung nötig, auch deshalb, da die von uns angenommene spektrale Invarianz im Impulsbereich kaum mehr gilt. Ein Knick in der Verteilungskurven läßt im allgemeinen auf das Vorhandensein verschiedenartiger auslösenden physikalischen Ursachen schließen. Ob nach dem Knickpunkt der Verteilungsdichtekurven in unserem Falle es sich um eine einfache Superposition in diesem Sinne handelt, oder die Veränderung der Wahrnehmungsstärke des Schwingungsempfindens des Fahrers wirklich eine additional Rolle spielt, bleibt letzten Endes noch abzuwarten. Wie schon Anfangs erwähnt, ist der Ablauf der Verteilungsfunktionen aller Signale ähnlich. Das ist die Folge davon, daß die erwähnte Eigenschaft der näherungsweise spektralen Invarianz nicht nur in Hinsicht des Fahrersitzbeschleunigungssignals, sondern auch in Hinsicht jeglicher Signale gilt, demzufolge müssen deren Effektivwerte bei allen Fahrgeschwindigkeiten und Straßenverhältnissen einander proportional sein. Das bedeutet aber, daß die Effektivwertdichtefunktion des Fahrersitzbeschleunigungssignals sich durch homogene und lineare Variabletransformation in die Dichtefunktionen beliebiger Signale überführen läßt. In Anbetracht der Gausschen Charakter aller der betrachteten Signale, ist die Ähnlichkeit der Verteilungsfunktionen jeglicher Signale, als in zu (13) ähnlicher Weise erstellten Mischverteilungen durchleuchtend.

All danach zeichnet sich das Bild ab, daß der Fahrer als adaptiver Regler die Statistik der auf ihn wirkenden Schwingungsbeschleunigungen nach einem im Zeitbereich nach nicht gekannter Weise wirkenden Algorithmus zu beeinflussen strebt, dadurch er aber gleichzeitig auch die Statistik beliebiger, von den Straßenunebenheiten hervorgerufenen Signale beeinflusst.

Wir wollen nun noch zeigen, daß die bisher ungerissene Theorie in keinem Widerspruch mit der durch viele Versuche begründete Norm ISO 2631.74 (E) [8], welche die auf den Menschen wirkenden Schwingungen bewertet, steht. Diesbezüglich müssen wir noch manches zur Deutung der in Tafel I enthaltenen Parameter zufügen:

— je größer der Wert von  $n$  als 1,0 ist, desto ausgeprägter ist das Minimum von (6), wozu der Fahrer eine wachsende Freiheit in seiner Fahrstrategie haben muß;

— wenn  $\lambda \rightarrow 0$ ,  $S_{\ddot{y}_e} \rightarrow \infty$ . Der Wert von  $\lambda$  hängt mit jener Effektivwertstreuung der vertikalen Schwingungsbeschleunigungen der Funktion  $h(\ddot{y}_e)$ , worauf sich der Fahrer von vornherein vor der Absolvierung einer Verkehrsaufgabe nach noch nicht geklärten Gesichtspunkten einstellt, zusammen;

—  $\xi$  ist eine Verhältniszahl von Lagrangeschen Konstanten, die Null wird, wenn die Nebenbedingung (9) (fahrplanmäßiger Verkehr) der Variationsrechnung fällt.

Tafel 1

Messung Parameter	Auf Überland- omnibus auf Linie Budapest—Bakony- bél	Auf Überland- omnibus auf Linie Budapest—Nagy- kanizsa	Auf Schwingtisch
$n$	3,75	2,0	-1,0
$\xi$	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	-0,0
$\ddot{y}_{ek}$	2,380	1,480	—
$\lambda$	1,034	2,146	0,0
$Q$	2,910	2,163	—
$q$	0,5	0,5	-0,5

Auch im Falle von Schwingtischuntersuchungen [9, 10] ist die Optimierungstätigkeit des Menschen nicht auszuschließen: die Versuchsperson hat allerdings nur eine einzige Freiheit in der Beeinflussung des Versuchsganges: die Beendigung der Einwirkung. Daher ist es zu erwarten, daß der Exponent  $n$  seinem Kleinstwert 1,0 sehr nahe kommende Werte annimmt. Weil die Versuchsperson keinen Einfluß auf die Wahl der Effektivwerte hat, ist zu erwarten, daß sie sich an eine sehr große Streuung der Dichtefunktion einstellen, und daher  $\lambda \approx 0$  zu erwarten sein wird. Da bei einem Schwingtischversuch, wo von einem Fahrplan keine Rede sein kann, demzufolge auch die Nebenbedingung (9) fällt, ist mit  $\xi = 0$  zu rechnen. Es muß ein weiteres Merkmal von Schwingtischversuchen sein, daß wegen  $n \approx 1$ ,  $n/(n-1)$  sehr hohe Werte annimmt, und deshalb kleine Abweichungen von dem Gausschen Gesetz in (11) sehr ausgeprägte Konsequenzen haben. Diese Abweichungen lassen sich laut Erfahrung in folgender Weise berücksichtigen. Die Dichtefunktion (11) kann in eine gammasche Varianzdichtefunktion von  $q = 0,5$ -ter Ordnung überführt werden. Der erwähnten Abweichungen halber nehmen wir  $q \neq 0,5$  an, so erhalten wir nach Rücktransformation in entgegengesetzte

Richtung

$$h(\ddot{y}_e) = \frac{2\lambda^q}{\Gamma(q)} \ddot{y}_e^{2q-1} \cdot e^{-\lambda \ddot{y}_e^2} \quad (14)$$

was im speziellen Falle ( $q = 0,5$ ) mit (11) selbstverständlich equivalent ist.

Nach Substitution von (14) in (10) und Substitution in den mit (2) völlig analogen Zusammenhang

$$\tau = \Theta_1 \cdot g(\ddot{y}_e) \quad (15)$$

Einbeziehung der Konstanten in  $C_0$  und Logarithmierung:

$$\ln \tau = \ln C_0 + \frac{n}{n-1} [(2q-1) \ln \ddot{y}_e - \lambda \ddot{y}_e^2] \quad (16)$$

Da nach unseren Betrachtungen

$$\begin{aligned} q &\approx 0,5 & \text{daher } 2q - 1 &\approx 0 \\ n &\approx 1 & \text{daher } n(n-1) &\approx \infty, \text{ außerdem} \\ \lambda &\approx 0 \end{aligned}$$

zu erwarten sind, enthält (10) drei unbestimmte Konstanten

$$\ln \tau = \bar{z} - \bar{\beta} \ln \ddot{y}_e - \bar{\gamma} \ddot{y}_e^2 \quad (17)$$

Mit

$$\bar{z} = 3,815, \quad \bar{\beta} = 0,5765, \quad \bar{\gamma} = 2,320$$

erhielten wir die gestrichelt ausgezogene Kurve in Abb. 7, worin auch die Kurve  $\tau(\ddot{y}_e)$  für eine Terzband-Mittenfrequenz von 10 Hz und für die »Grenze der Komfortverminderung« laut Norm ISO 2631.74 (E) eingezeichnet ist

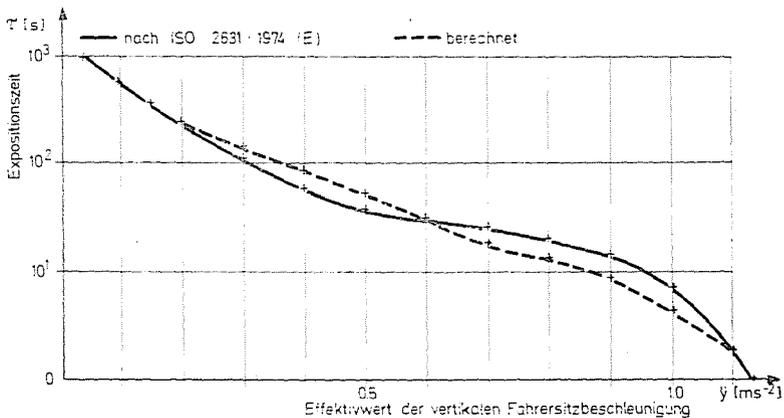


Abb. 7.

(von der Norm abweichend in halblogarithmischer Darstellungsweise). Die Annäherung ist mit Rücksicht auf die in der Norm selbst angedeuteten Unsicherheiten durchaus annehmbar.

Wenn dieser Gedankengang richtig ist, dann würden die in der erwähnten Norm enthaltenen Werte, sowie alle in Laborverhältnissen im Rahmen von subjektiven Schwingungsuntersuchungen ermittelten Zeitwerte, die einer vermuteten konstanten Schwingungseinwirkung gehören, nur *Ist*-Ergebnisse einer subjektiven, in extremen Umständen durchgeführten Optimalisationstätigkeit sein, während die wahren (als den Zusammenhängen (2) und (11), bzw. (14) entsprechenden *Soll*-) Werte verborgen geblieben sind.

### Möglichkeiten der Vorausbestimmung der Statistiken der Beanspruchungen in der Entwicklungsphase

Auf Grund der dargestellten Gesetzmäßigkeiten wäre die Statistik der Beanspruchungen in der Entwicklungsphase prinzipiell in folgender Weise vorauszubestimmen: Verteilungshäufigkeiten von Straßenbeschaffenheiten und durch Fahrpläne bestimmte mittlere Reisegeschwindigkeiten bestimmen zeitliche Mittelwerte der Varianz der vertikalen Fahrersitzbeschleunigungen. Es muß sodann aus durch Erfahrung festgelegte Parameterkombinationen eine solche ausgewählt werden, welche der genannten Varianz entspricht. Damit ist schon die Dichtefunktion (10) der Fahrersitzbeschleunigungen, aber in Kenntnis der Übertragungseigenschaften der Fahrzeugstruktur auch die Effektivwertdichtefunktion irgendwelchen anderen Signals bestimmt. Effektivwertdichtefunktionen ermöglichen — wie bekannt — durch Wichtung in zur Formel (13) ähnlicher Weise und unter Mitbeziehung der Theorie der quasistationären Gausschen Signalen die Erstellung von Verteilungsfunktionen beliebiger Art. Bei Fahrzeugen, deren Belastung in weiten Grenzen ändert, könnte die Wichtung vorläufig zweidimensional, je nach Belastungs- und je nach Effektivwerthäufigkeiten durchgeführt werden [11, 12]. Effektivwertdichtefunktionen können zur Charakterisierung von Dauerbelastungen gegebenenfalls auch direkt herangezogen werden, während extrapolierte Verteilungen von Spannungsspitzen oder Durchschreitungsanzahlen z. B. auf Grund der Statistik der Extreme gemäß heutiger Praxis die Berechnung jener Wahrscheinlichkeiten, womit gewisse kritische Beanspruchungsniveaus im Laufe gar der gesamten Lebensdauer nicht überschritten werden, zulassen.

Das Hauptmerkmal dieses Verfahrens besteht darin, daß in Gegensatz zur heutigen Praxis bei der Erstellung der Statistik der Beanspruchungen nicht nur von den statistischen Eigenschaften der Straße, sondern auch vom in signifikanter Weise zur Geltung kommenden Fahrerverhalten ausgegangen wird. Dieser Tatbestand hat zur Folge, daß — weil der spektrale Charakter

der Straßen und die Eigenschaften der Fahrer typenunabhängig sind — das Berechnungsverfahren noch im Entwurfstadium und ganz allgemeingültig verwendet werden kann.

Unserer Meinung nach, liegt aber die Bedeutung der dargestellten Theorie darin, daß bestehende Prüfprogramme oder Statistiken für Bemessungszwecke auf ihre Wirklichkeitstreue besser beurteilt werden können. Aus theoretischem Gesichtspunkt aber, falls die Richtigkeit unseres Gedankenganges durch weitere Erfahrung unterstützt würde, könnte nicht nur mit einer Verknöpfung des Gebietes des Schwingungsverhaltens des Menschen und der statistischen Analyse der Beanspruchungen, sondern auch damit gerechnet werden, daß die Kategorie der Straßenfahrzeuge weit überschreitend auf diesen Teilgebieten ganz neue Gesichtspunkte Fuß fassen werden.

### Zusammenfassung

Wie es Messungen auf langer Zeitbasis bewiesen haben, zeigen Fahrzeuge im dichten Stadtverkehr ähnliche Statistiken der Belastungen, wie im Überlandverkehr vor. Es wird eine Theorie umgerissen, die diesen Sachstand grundsätzlich dem unter verschiedenen Umständen unveränderten Verhalten des Fahrers, das durch die Wahl der Fahrgeschwindigkeiten auf verschieden beschaffenen Straßen die Effektivwerte der auf ihn wirkenden vertikalen Beschleunigungen, damit aber auch der Beanspruchungen beeinflußt, zumutet.

### Literatur

1. HÄNEL, B.: Ifl Mitteilungen 15, 252 (1976).
2. JACOBY, G.: Das Problem der Schwingfestigkeit im Kraftfahrzeugbau. Carl Schenk Maschinenfabrik GmbH (Darmstadt) 1973.
3. BENDAT, J. S.: Principles and Applications of Random Noise Theory. John Wiley and Sons Inc. (New York) 1958.
4. SKATTUM, K. S.—HARRIS, J. F.—HOWELL, L. J.: SAE SP-392 750136 31.
5. FODEN, P. I.: Agricultural Aircraft Flight Loads Typical Spectra and some Observations on Airworthiness. ICAF Symposium (Melbourne) 1967.
6. DODDS, C. I.: ASME Publication. No 73-DET-24. 1.
7. MIWA, T.: National Institute of Industrial Health. (Kizuki—Sumiyoshi—Kawasaki) 1968.
8. International Standard ISO 2631.74 (E).
9. GUIGNARD, I. C.: Evaluating Human Exposure to Vibration. ASE (Warrendale) 1973.
10. STIKELATHER, L. F.: ASE 780823 2756.
11. MICHELBERGER, P.—KERESZTES, A.: FISITA XVII. Congr. Vol. VI. (Budapest) 1125 (1978).
12. JÁNOSDEÁK, E.: Jánművek, Mezőgazdasági Gépek 8, 283 (1977).

Dr. E. JÁNOSDEÁK

AUTOKUT, Budapest, XI. Csóka u. 3.

Dr. A. KERESZTES

Prof. Dr. P. MICHELBERGER

} Budapesti Műszaki Egyetem  
 } 1502 Budapest, Pf. 91.