

mitwirkten, stellten fest, daß mit der Aufnahme der Produktion eines solchen Erzeugnisses ein echter Beitrag zur Gewährleistung einer guten Beförderungskultur beim Personentransport im Nahverkehr, in der Landwirtschaft und in der Bauwirtschaft der UVR und der DDR geleistet wird.

In Abstimmung mit dem ungarischen Partner läuft noch im II. Halbjahr 1975 die Serienproduktion an, ab 1976 wird dieses Integrationsergebnis im Straßenverkehr der DDR zu sehen sein. Diese Integrationsaufgabe konnte in der relativ kurzen Zeit von 19 Monaten nur durch eine echte sozialistische Zusammenarbeit zwischen den beiden Partnern, den an der Erprobung Beteiligten und unter Einbeziehung von Neuerern beider Länder gelöst werden.

Anläßlich der Leipziger Herbstmesse 1975 wurde dem KOM Typ 211 im Ergebnis eines harten Tests und einer erfolgten Weiterentwicklung das begehrte Messgold verliehen.

#### Technische Daten des KOM Typ 211

Eigenmasse ( $\pm 5\%$ )	6600 kg
Nutzmasse	3000 kg
Gesamtmasse	9600 kg
Masseverteilung: vorn	3100 kg
hinten	6500 kg
Sitzplätze	34 (DDR-Ausführung)
	26 + 37 (UVR-Ausführung)
Stehplätze	6
Fahrpersonal: Kraftfahrer	1
Beifahrer oder	
Reiseleiter	1
Gepäckraum insges.	1,7 m <sup>3</sup> (Nullserie)
zuläss. Masse im Gepäckraum	200 kg
Gesamtlänge	8500 mm
Gesamtbreite	2500 mm
Höhe	2920 mm
Radstand	4030 mm
Leistung	92 kW (125 PS) bei 3200 U/min
max. Drehmoment	430 Nm ( $\approx 43$ kpm) bei 1350 U/min
Höchstgeschwindigkeit	90 km/h

## Ausfallursachen und Zuverlässigkeitskenngrößen von ausgewählten Fahrzeug-Viertakt-Dieselmotoren

Dr.-Ing. J. Stibbe, KDT,

WTZ Spezialisierte Landtechnische Instandsetzung Neuenhagen, Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal

Für die Beurteilung des Ausfallverhaltens einer gesamten Maschine ist die Istabnutzung praktisch nicht verwendbar, da die Abnutzung an verschiedenen Teilen den Ausfall der Maschine bedingen kann [1].

Deshalb werden in Abhängigkeit vom Ausfall der Elemente noch andere Kenngrößen benutzt [2], die sich als Funktion der Nutzungsdauer ergeben, wie

- Verteilungsdichte  $f(t)$ , auch relative Klassenhäufigkeit oder Ausfallhäufigkeit genannt
- Überlebenswahrscheinlichkeit  $R(t)$ , auch als Zuverlässigkeit oder Abgangskurve bekannt
- Ausfallwahrscheinlichkeit  $F(t)$ , auch als relative Summenhäufigkeit bezeichnet
- Ausfallrate  $\lambda(t)$
- Verfügbarkeit  $A$ .

Daneben verwendet man für die Charakterisierung des Abnutzungsverhaltens ökonomische Kategorien [1], wie die Instandhaltungs- oder Betriebskosten.

Im Rahmen dieser Arbeit werden Ausfallursachen ermittelt und die für die Festlegung von Aussonderungsgrenzen maßgeblichen Zuverlässigkeitskenngrößen, wie Ausfallrate und Überlebenswahrscheinlichkeit, bestimmt [3].

### 1. Ausfallursachen

Die Ausfallursachen sind wichtig für die Beurteilung der Fertigungs- und Instandsetzungsqualität, den Grad der Inanspruchnahme der Grenznutzungsdauer, die Zuverlässigkeit der Elemente und den zu erwartenden Instandsetzungsanfall. Die Bewertung der Ausfallursachen erfolgt anhand der relativen Summenhäufigkeit ihres Anfalls.

Die Untersuchungen basieren auf Ergebnissen von den in den Jahren 1968 bis 1971 entnommenen Stichproben ausgefallener Motoren, die von folgenden Betrieben ermittelt wurden:

- Ing.-Büro für Rationalisierung Dresden
- Landtechnischer Dienst Reichenbach

— Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal (Themen Schadensgrenzwerte und ökonomisches Experiment).

Tafel 1 gibt einen Überblick über die Häufigkeit der Ausfallursachen, untergliedert nach den technisch-organisatorischen Merkmalen

- Kurbeltrieb (KT)
- Zylinder-Kolbengruppe (ZKG)
- Wasser im Öl
- sonstige Ursachen
- geplanter Motortausch.

Davon besitzen die Ausfallursachen ZKG und KT repräsentativen Charakter, während die übrigen als zufällig anzusehen sind, da die Datensammlung nicht generell auf die Erfassung dieser Ursachen orientierte.

In der Reihenfolge steigender Summenhäufigkeit ergibt sich für die technischen Merkmale folgende Verteilung:

- Wasser im Öl
- Sonstiges
- Kurbeltrieb
- Zylinder-Kolbengruppe.

Damit ist erwiesen, daß die Motoren hauptsächlich aufgrund der erreichten Grenznutzungsdauer der ZKG bzw. des KT ausfallen. Dabei ist der Ausfall der ZKG als bestimmend anzusehen, weil sie von beiden zuerst die Grenznutzungsdauer erreicht. Alle weiteren Ausfallursachen (wie z. B. Wasser im Öl) beinhalten Frühausfälle infolge zufälliger Schäden, die auf die Fertigungs- oder Instandsetzungsqualität zurückzuführen sind.

Die höhere Summenhäufigkeit für den Ausfall der ZKG des Werkmotors (neuer Motor) gegenüber der des Tauschmotors (instand gesetzter Motor) deutet auf eine bessere Ausnutzung der Grenznutzungsdauer der ZKG bzw. auf weniger Schäden in Form von Frühausfällen am KT hin. Das wird eindeutig durch die höheren Ausfälle am KT des instand gesetzten Motors und seine Frühausfälle entsprechend Tafel 2 belegt. Dabei sind die Frühausfälle mit der relativen Klassenhäufigkeit der Aussonderung nach

Tafel 1. Prozentualer Anteil der Ausfallursachen an den Gesamtausfällen (= 100 %)

Ausfallursachen	Motor	Motortyp		
		4 KVD 8	4 VD 14,5	D 103
KT	M <sub>i</sub>	27,5	34,2	33,3
	M <sub>n</sub>	25,9	26,7	25,3
ZKG	M <sub>i</sub>	54,6	41,6	53,0
	M <sub>n</sub>	56,7	45,5	53,8
Wasser im Schmieröl	M <sub>i</sub>	—	19,2	3,8
	M <sub>n</sub>	—	12,4	3,0
Sonstige	M <sub>i</sub>	7,1	5,0	4,8
	M <sub>n</sub>	10,7	15,4	3,4
geplanter Motortausch	M <sub>i</sub>	10,8	0	5,1
	M <sub>n</sub>	6,7	0	14,5

Tafel 2. Relative Klassenhäufigkeit in % der Frühausfälle im Definitionsbereich (in l)

Definitionsbereich		4 KVD 8	4 VD 14,5	D 103
0 ≤ t ≤ 1000	M <sub>i</sub>	11,6	—	—
	M <sub>n</sub>	2,1	—	—
0 ≤ t ≤ 5000	M <sub>i</sub>	—	12,5	4,1
	M <sub>n</sub>	—	—	2,5
Wertvorrat insg. in l	M <sub>i</sub>	0 ≤ t ≤ 8400	0 ≤ t ≤ 45000	0 ≤ t ≤ 49500
	M <sub>n</sub>	0 ≤ t ≤ 11000	0 ≤ t ≤ 66000	0 ≤ t ≤ 60000

etwa 1/10 der maximalen Grenznutzungsdauer (des Motors) identisch und, wie die Erfassungsliste ausweist, größtenteils mit mangelnder Instandsetzungsqualität, die sich in Form von Kurbelwellenbrüchen und Lagerfressern äußert, begründet. Neben der besseren Nutzung der ZKG ist, wie der Definitionsbereich (Tafel 2) beweist, beim neuen Motor auch eine Verschiebung zu höherer Grenznutzungsdauer zu verzeichnen.

Fehlerhafte Montage der Gleitbuchsen bzw. infolge von Temperatureinwirkung verhärtete Gummiringe sind Ursachen für Wasser im Schmieröl. Wie Tafel 1 zeigt, ist beim instand gesetzten Motor mit einem höheren Anfall zu rechnen. Besonders hoch ist der Anteil beim Motor 4 VD 14,5. Hier waren in den ersten Einsatzjahren durch mangelnde Qualität der Gummiringe und Schwachstellen in der Abdichtung des Wärmetauschers wiederholt Ausfälle zu verzeichnen. Bei einem Wassereintritt ist als Nachfolgeschaden Kurbeltriebausfall zu erwarten.

Die rein organisatorische Maßnahme Motortausch und ihr Anteil an der Aussonderung der Motoren beweist, daß gegenwärtig etwa jeder 10. bis 20. Motor vor Erreichen der Grenznutzungsdauer zur Instandsetzung gelangt. Dieses auf Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit orientierte Verhalten der Fahrzeughalter resultiert aus dem Fehlen von Methoden zur Bestimmung des optimalen Aussonderungszeitpunktes und der Restnutzungsdauer.

Zusammenfassend ergibt sich:

- Bestimmend für die Aussonderung der Motoren ist die Zylinder-Kolbengruppe. Sie ist Ursache für jeden zweiten Motorwechsel.
- Die Grenznutzungsdauer des Kurbeltriebs wird von jedem vierten Motor erreicht. Frühausfälle bewirken eine Verkürzung der Grenznutzungsdauer, insbesondere beim instand gesetzten Motor.
- Infolge mangelnder Instandsetzungsqualität liegt die Grenznutzungsdauer instand gesetzter Motoren unter der von fabrikneuen.
- Jeder 10. bis 20. Motor wird infolge fehlender Methoden zur Bestimmung der Grenznutzungsdauer vorzeitig getauscht.

## 2. Zuverlässigkeitskenngrößen

Die nach verschiedenen Zeiten bei einer Stichprobe gleicher und gleichbeanspruchter Erzeugnisse (Motoren) registrierten Ausfälle werden nach Klasseneinteilung in Form einer Häufigkeitsverteilung, getrennt nach den Ausfallursachen Motor gesamt, Zylinderkolbengruppe (ZKG) und Kurbeltrieb (KT), für die

Zuverlässigkeitskenngrößen Überlebenswahrscheinlichkeit  $R(t)$  und Ausfallrate  $\lambda(t)$  dargestellt.

Für eine statistische Sicherheit von 95,44 % gilt bei ausgezählten Werten folgende Formel für den Mindestumfang der Stichprobe [4]:

$$n = \frac{N}{1 + a^2 N} \quad (1)$$

n Mindestumfang der Stichprobe in Stück

N Grundgesamtheit in Stück

a zulässige Abweichung des Mittelwerts vom Erwartungswert  
Bei bekanntem Umfang der Grundgesamtheit [5] ergibt sich (mit einer zulässigen Abweichung des Mittelwerts gegenüber dem Erwartungswert der Grundgesamtheit von 0,10) die Stichprobengröße mit 99 Motoren. Die Überlebenswahrscheinlichkeit  $R(t)$  in % stellt den Anteil der noch betriebstauglichen Elemente einer Stichprobe, aufgetragen über der Nutzungsdauer, dar. Ihre theoretische bzw. empirische Form ist definiert durch

$$R(t) = \int_{t=0}^{\infty} f(t) dt = \frac{n_{na}(t)}{n_o} 100 \quad (2)$$

$n_{na}$  Anzahl der nicht ausgefallenen Elemente

$n_o$  Stichprobengröße (Gesamtzahl der untersuchten Elemente)

Die Überlebenswahrscheinlichkeit, auch Zuverlässigkeit oder Abgangskurve genannt, ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine ganze Maschine, eine Baugruppe oder ein Einzelteil während einer bestimmten Nutzungsdauer betriebstauglich bleibt, d. h. nicht ausfällt. Entsprechend der Verteilungsart der Ausfälle (Normal- oder Weibullverteilung) wird sich ein unterschiedlicher Verlauf der Abgangskurve ergeben.

Die Ausfallrate  $\lambda(t)$  in 1/l ist der Anteil der in einer Zeiteinheit während der Nutzungsdauer versagenden Elemente. Sie kann nach folgender Beziehung ermittelt werden:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\Delta n(t)}{\Delta t n_{na}(t)} 100 \quad (3)$$

$\Delta n$  Anzahl der Elemente, die im angegebenen Zeitabschnitt  $\Delta t$  ausgefallen sind

$\Delta t$  Zeitabschnitt (Klassenbreite der Nutzungsdauer) in l DK

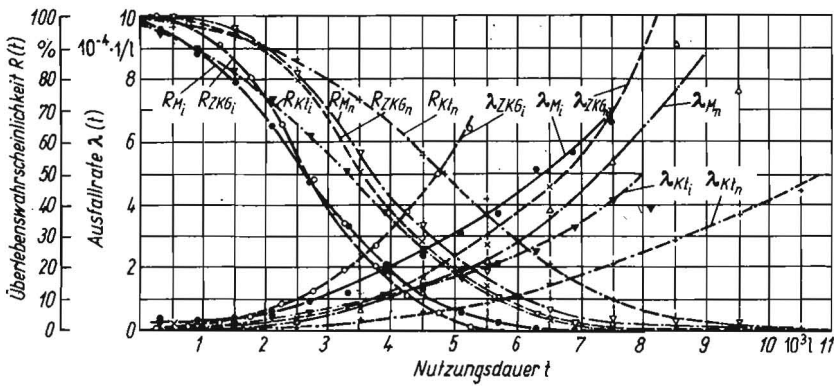
Für den Idealfall stellt sich der Verlauf der Ausfallrate über der Nutzungsdauer als sogenannte Badewannenkurve dar. Sie resultiert aus den Frühausfällen (degressiver Abfall), den Zufalls- oder Normalausfällen (konstanter Verlauf) und den Abnutzungsausfällen (progressiv steigende Tendenz). Je kleiner  $\lambda(t)$  ist, um so zuverlässiger ist das Element.

Die durch die Zuverlässigkeitskenngrößen erfaßte zeitliche Verteilung des Ausfalls ist das Abbild eines Zufallprozesses, der durch stochastisch wirkende Faktoren bestimmt wird, wie

- Betriebsbedingungen (Belastung, Relativgeschwindigkeit, Pflege)
- Makro- oder Mikrogeometrie der Ausgangsteile (Herstellungs- oder Betriebsgrenzmaß)
- chemische und mechanische Prozesse des Abnutzungsvorgangs.

In Abhängigkeit von den Ausfallursachen (z. B. aufgrund der ZKG oder des KT) und den Merkmalen ihrer Aussonderung (z. B. Funktionstüchtigkeit, Betriebskosten, Ölverbrauch usw.) zeigen die technischen Zuverlässigkeitskenngrößen vorwiegend technisch-ökonomischen Charakter. Der Ausfall und der damit verbundene Verlust der Betriebs- und Funktionstüchtigkeit des Elements wird durch die Abnutzung (rein technisches Problem) hervorgerufen. Die Aussonderung kann aus ökonomischen Gründen vorher erfolgen.

Will man also Baugruppen, wie z. B. Motor gesamt, ZKG oder KT untersuchen, ihr Ausfallverhalten charakterisieren und Aussonderungsgrenzwerte festlegen, so müssen die von den Ausfallursachen dieser Elemente abhängigen Zuverlässigkeitskennwerte



Bilder 1 bis 3. Überlebenswahrscheinlichkeit und Ausfallrate als Funktion der Nutzungsdauer bei verschiedenen Motoren; verwendete Abkürzungen und Formelzeichen:

M Motor  
 ZKG Zylinder-Kolbengruppe  
 KT Kurbeltrieb  
 i instand gesetzt  
 n neu

Bild 1. Motor 4 KVD 8;  
 Baugruppe mGND n % s

	l	n	%	s
M <sub>i</sub>	2650	566		1600
ZKG <sub>i</sub>	2700	309	54,6	1175
KT <sub>i</sub>	3272	156	27,5	1931
M <sub>n</sub>	3750	143		1650
ZKG <sub>n</sub>	3550	81	56,7	1600
KT <sub>n</sub>	4827	37	25,9	2145

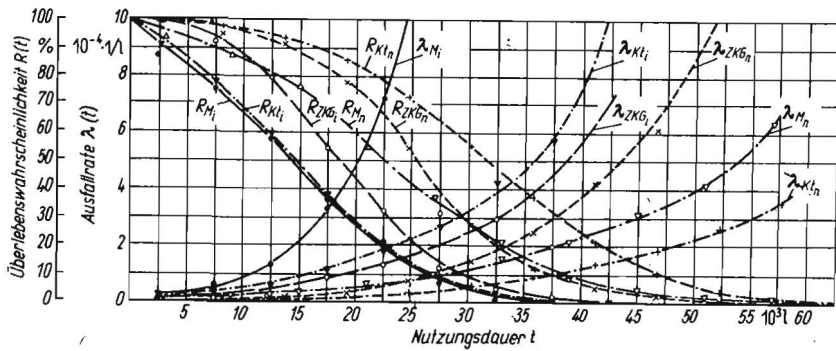


Bild 2. Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW;  
 Baugruppe mGND n % s

	l	n	%	s
M <sub>i</sub>	14500	96		9500
ZKG <sub>i</sub>	18750	40	41,6	6750
KT <sub>i</sub>	14589	33	34,2	9430
M <sub>n</sub>	22500	178		12000
ZKG <sub>n</sub>	25600	81	45,5	9000
KT <sub>n</sub>	31894	48	26,7	11760

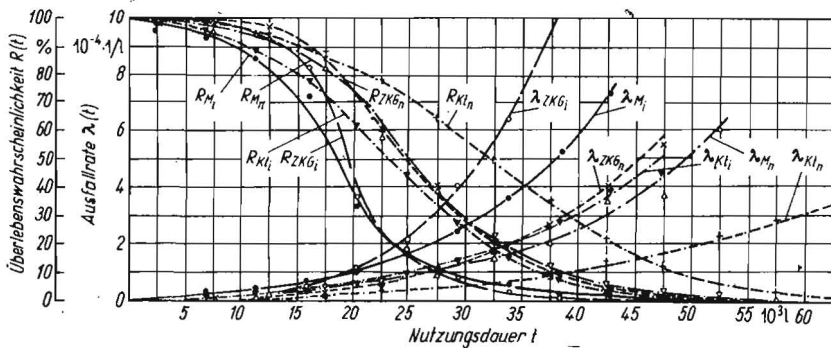


Bild 3. Motor D 103  
 Baugruppe mGND n % s

	l	n	%	s
M <sub>i</sub>	18750	219		8500
ZKG <sub>i</sub>	19750	116	53,0	6750
KT <sub>i</sub>	23123	73	33,3	9988
M <sub>n</sub>	24500	283		10250
ZKG <sub>n</sub>	25000	152	53,8	9250
KT <sub>n</sub>	32186	72	25,3	12786

bekannt sein. Zur Ermittlung der Kennwerte werden deshalb Stichproben, getrennt nach den Ausfallursachen der zu untersuchenden Elemente, zusammengestellt. Im Falle des Motors und der ZKG sind diese Stichproben vollständig, da es sich um die für das Ausfallverhalten bestimmenden Ursachen handelt. Diese Baugruppen haben mit der Aussonderung ihre Grenznutzungsdauer erreicht. Die Einzelwerte der Zuverlässigkeitskenngrößen werden entsprechend den Gleichungen (2) und (3) ermittelt.

Im Falle des KT handelt es sich um unvollständige Stichproben, da er meist erst nach Ausfall der ZKG (Aussonderung des Motors) seine Grenznutzungsdauer erreicht. Der Verlauf der Zuverlässigkeitsfunktionen  $R(t)$  und  $\lambda(t)$  wird deshalb mit Hilfe des Extrapolationsverfahrens nach Gupta [6] ermittelt. Dabei wird von der Voraussetzung ausgegangen, daß die Überlebenswahrscheinlichkeit für den KT, wie im Falle der Baugruppen Motor gesamt und ZKG (durch Darstellung der Abgangskurven Motor und ZKG im Wahrscheinlichkeitsnetz hinreichend genau bestätigt), normalverteilt ist.

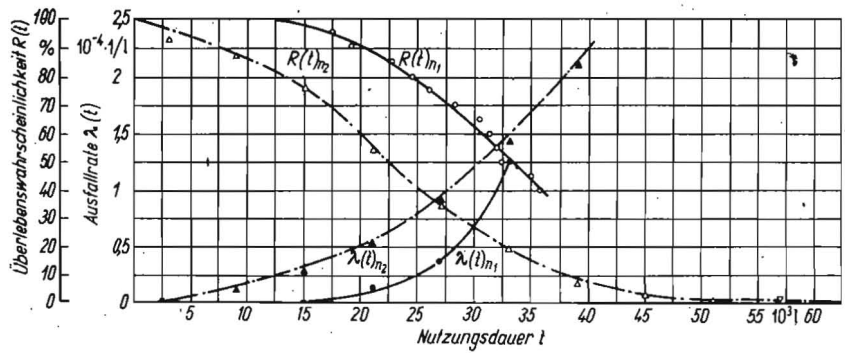
Aus der Darstellung des extrapolierten Mittelwerts  $\hat{\mu}$  und der extrapolierten Standardabweichung  $\hat{\sigma}$  nach Gupta [6] im Wahrscheinlichkeitsnetz können die Einzelwerte der Überlebenswahrscheinlichkeit über den Klassenmitten der Nutzungsdauer entnommen und anschließend graphisch veranschaulicht werden. Die Bilder 1 bis 3 enthalten die Funktionen der Zuverlässigkeits-

kenngrößen  $R(t)$  und  $\lambda(t)$  für neuen und instand gesetzten Motor. Als Parameter dienen die Ausfallursachen Motor gesamt, ZKG und KT.

Aus dem Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeit ist ersichtlich, daß alle Baugruppen gleicher Art, die zu einer Funktion  $R(t)$  gehören, eine unterschiedliche Grenznutzungsdauer haben. Damit gibt es keinen Zeitpunkt, zu dem die Abnutzung an allen Verschleißpaarungen einer Funktion gleich weit fortgeschritten ist. Bereits nach kurzer Zeit sind die ersten Schadensfälle eingetreten. Diese, wie auch der Verlauf von  $R(t)$ , werden im wesentlichen durch die Frühausfälle bestimmt. Charakteristisch dafür ist die bei  $R(t) = 90\%$  erreichte Mindestgrenznutzungsdauer. Sie ist beim instand gesetzten Motor kleiner als beim neuen Motor (Tafel 3) und beim KT größtenteils kleiner als bei der ZKG. Das bedeutet wiederum, daß die Frühausfälle beim instand gesetzten Motor und am Kurbeltrieb meist höher sind (korrelativer, in der Instandsetzungsqualität begründeter Zusammenhang). Allgemein gilt:

- Die Grenznutzungsdauer des gesamten Motors (ersichtlich aus dem Verlauf von  $R(t)$ ) ist kleiner als die seiner Baugruppen
  - Der Verlauf aller Abgangskurven wird im wesentlichen von den Abnutzungsbedingungen und der Fertigungs- und Instandsetzungsqualität bestimmt.
- Der Steigungswinkel einer Abgangskurve hängt von der Standardabweichung und diese wieder von den Abnutzungsbedingun-

Bild 4. Einfluß der Pflege auf Überlebenswahrscheinlichkeit  $R(t)$  und Ausfallrate  $\lambda(t)$  beim Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW (neuer Motor);  $n_1 = 12$  (unvollständige Stichprobe von 20 Motoren der Nullvermessung), charakteristisch für bessere Pflege,  $n_2 = 178$ ,  $mGND_{n_1} = 33625$  l,  $mGND_{n_2} = 22500$  l, Mindest-GND $_{n_1} = 20125$  l, Mindest-GND $_{n_2} = 7500$  l



Tafel 3. Angaben zur Grenznutzungsdauer

Bezeichnung		Motor	4 KVD8	Motorotyp 4 VD 14,5	D 103
Motor	Mindestgrenz-	$M_i$	775	1500	8750
	nutzungs-	$M_n$	2050	7500	13750
ZKG	dauer	$M_i$	1300	9000	13500
		$M_n$	1950	14000	16375
KT	in l	$M_i$	875	2500	10500
		$M_n$	2050	16750	15875
Motor	mGND	$M_i$	2650	14500	18750
	in l	$M_n$	3750	22500	24500
Streuung s	in l	$M_i$	1600	9500	8500
		$M_n$	1650	12000	10250
Stichprobe	in Stück	$M_i$	566	96	219
		$M_n$	143	178	283
ZKG	mGND	$M_i$	2700	18750	19750
	in l	$M_n$	3550	25600	25000
Streuung s	in l	$M_i$	1175	6750	6750
		$M_n$	1600	9000	9250
Stichprobe	in Stück	$M_i$	309	40	116
		$M_n$	81	81	152
KT	mGND	$M_i$	3272	14589	23123
	in l	$M_n$	4827	31894	32186
Streuung s	in l	$M_i$	1930	9430	9989
		$M_n$	2145	11760	12786
Stichprobe	in Stück	$M_i$	156	33	73
		$M_n$	37	48	72
Diff. zw. $mGND_{KT}$		$M_i$	572/17,5	- 4161/-28,5	3373/14,6
u. $mGND_{ZKG}$		$M_n$	1277/26,5	6294/ 19,7	7186/22,3
					in l/in %

gen ab. Je steiler die Abgangskurve verläuft, desto kleiner ist die Streuung, desto mehr Paarungen fallen zum gleichen Zeitpunkt aus, was für die Lösung instandhaltungstechnischer Aufgaben (z. B. Aussonderung und Instandsetzung des größten Anteils zu einem bestimmten Zeitpunkt) günstig ist. Flacher Verlauf dagegen, wie im Falle der in den Bildern 1 bis 3 dargestellten Paarungen, ist ungünstig.

Bestimmend für die Lösung von Instandhaltungsproblemen (Ermittlung von Verbrauchskennziffern VKZ für Ersatzteile, Bedarf an Austauschbaugruppen) ist die bei  $R(t) = 50\%$  erreichte mittlere Grenznutzungsdauer (mGND). Sie ist, wie auch die Mindestgrenznutzungsdauer, beim neuen Motor höher als beim in stand gesetzten Motor (Tafel 3) und bei den Baugruppen ZKG und KT höher als beim Motor (damit sind die gleichen, den Verlauf bestimmenden Einflußfaktoren existent, s. o.). Aus der mGND kann bei einer normalverteilten Überlebenswahrscheinlichkeit  $R(t)$  nach Eichler [1] die Grenzrate (VKZ) auszutauschender Teile oder Baugruppen (Konvergenzwert)  $f_g(t)$  entsprechend der folgenden Beziehung berechnet werden:

$$f_g(t) = \frac{N}{t_m} \quad (4)$$

$N$  Anzahl der untersuchten Teile (Grundgesamtheit)

$t_m$  mittlere Grenznutzungsdauer in l DK

Die Differenz zwischen mittlerer Grenznutzungsdauer des KT und der ZKG beträgt beim in stand gesetzten Motor etwa 15% und beim neuen Motor etwa 20% der mGND des KT (Tafel 3). Daraus folgt, daß nach Erreichen der Aussonderungsgrenze der ZKG ein Wechsel aller Gleitbuchsen unökonomisch ist. Die Angleichung der Nutzungsdauer zwischen KT und ZKG ist auf die Steigerung der Laufzeit bei der ZKG durch den Einsatz verschleißfester Materialpaarungen zurückzuführen.

Beim Tauschmotor des Typs 4 VD 14,5 (Bild 2) ist eine gegenläufige Tendenz ( $mGND_{KT} < mGND_{ZKG}$ ) zu verzeichnen, die vorwiegend in der mangelnden Instandsetzungsqualität zu suchen ist. Außerdem wirkt sich hier der relativ hohe Prozentsatz an Frühausfällen bei verhältnismäßig geringer Stichprobengröße aus.

Aus dem Vergleich der Abgangskurven ergibt sich, daß, je weiter die Funktion  $R(t)$  in Richtung größerer Grenznutzungsdauer liegt, desto größer ihr Gebrauchswert hinsichtlich der Ausnutzung der Baugruppe ist. Eine Verschiebung des Kurvenverlaufs nach rechts kann, außer durch Qualitätsverbesserung in der Fertigung und Instandsetzung, auch durch intensive Pflege (Bild 4) erfolgen. Damit ist neben der Erhöhung des Gebrauchswerts auch eine Senkung der Instandhaltungskosten verbunden [1].

Die unterschiedliche Form der Abgangskurven der untersuchten Motortypen ist abhängig von der Konstruktion und den Abnutzungsbedingungen.

Der flache Verlauf der Ausfallrate  $\lambda(t)$  beweist, daß sich ausgeprägte Früh- und Abnutzungsanfänge im Sinne der Badenwannekurve nicht einstellen. Ein stark ausgebildeter Knickpunkt existiert nicht. Aufgrund des relativ kontinuierlichen Ausfalls (jedenfalls im interessierenden Bereich) kann von dieser Kenngröße kein vollkommenes System der vorbeugenden Instandhaltung (vermeidbares Ausfallverhalten [7]) abgeleitet werden.

#### Literatur

- [1] Eichler, C.: Grundlagen der Instandhaltung am Beispiel landtechnischer Arbeitsmittel, Berlin: VEB Verlag Technik 1969.
- [2] TGL 26096 „Zuverlässigkeit in der Technik; Begriffe“.
- [3] Stübbe, J.: Ermittlung von technisch-ökonomisch begründeten Schadensgrenzwerten der Zylinder-Kolben-Gruppe für Fahrzeug-Viertakt-Dieselmotoren. Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Abschlußbericht 1973 (unveröffentlicht).
- [4] Sachs, L.: Statistische Auswertungsmethoden, Berlin: Springer-Verlag 1969.
- [5] Landwirtschaftsberichterstattung 1969, Angaben der sozialistischen Land- und Forstwirtschaft der DDR; Bestand per 31. 12. 1969.
- [6] Schiroslawski, W.: Methoden zur Bestimmung der mittleren Grenznutzungsdauer aus Kurzzeituntersuchungen. Broschüre des PVB Charlottenthal 1972.
- [7] Fleischer, G.: Probleme der Zuverlässigkeit von Maschinen. Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Magdeburg 16 (1972) 4. A 9646