

### 1. Aufgabenstellung

Zur Beurteilung des Gebrauchswertes eines Erzeugnisses sowie zur Schaffung von Voraussetzungen für neu zu entwickelnde Erzeugnisse ist die Kenntnis des Schädigungsverhaltens unbedingt notwendig. Der Gebrauchswert eines Erzeugnisses hängt in starkem Maße von der Anzahl der Störungen und Schäden während des Betriebes ab. Das Schädigungsverhalten charakterisiert das typische Verhalten eines bestimmten Erzeugnisses. Es muß deshalb mit wissenschaftlichen Methoden eine Übertragung der Erfahrungen auf neu zu entwickelnde Erzeugnisse erfolgen.

Darum ist die Ermittlung und Auswertung des Schädigungsverhaltens für Erzeugnisse der VVB Landmaschinenbau durch eine Anordnung festgelegt worden. Analog dazu beinhaltet die TGL 20 987 unter Abschnitt 5.2 etwa gleichlautende Festlegungen.

Folgende Kennziffern müssen zur Beurteilung des Gebrauchswertes ermittelt werden /1/:

- Zuverlässigkeit bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit der Baugruppen und Einzelteile
- Verfügbarkeit des Gesamterzeugnisses
- Schadensursachen und -erscheinungen sowie deren Häufigkeit (bezogen auf die jeweiligen Baugruppen und Einzelteile).

Die Bestimmung dieser Kennziffern sowie die Aussagen, die aus diesen Kennziffern ableitbar sind, werden nachfolgend erläutert.

### 2. Schadensursachen und -erscheinungen und ihre Häufigkeit

Die Kenntnis der Schadensursachen und -erscheinungen ist Voraussetzung dafür, daß folgende Maßnahmen getroffen werden können:

- Ableitung konstruktiver Maßnahmen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sowie der Senkung der Gesamtkosten
- Entscheidung über vordringlich zu bearbeitende Forschungsaufgaben aufgrund der Kenntnis über die Häufigkeit der Schadensursachen und -erscheinungen.

### 3. Verfügbarkeit (Konstruktion)

Die zur Beurteilung einer Konstruktion erforderliche Kennziffer Verfügbarkeit  $A$  errechnet sich unter Verwendung der Zeitgliederung nach TGL 80-22 289 aus

$$A = \frac{T_{02}}{T_{02} + T_{41} + T_{42} + T_3 + T_{61} + T_{62}} \quad (1)$$

Darin bedeuten:

- $T_{02}$  Operativzeit
- $T_{41} + T_{42}$  technisch und funktionell bedingte Störzeit ( $T_{42}$  einschließlich Instandsetzungszeit in der Werkstatt  $T_{422}$ )
- $T_3$  Pflege-, Wartungs- und Einstellzeit
- $T_{61} + T_{62}$  Zeit für Vorbereitungs- und Abschlußzeit an Antriebsmitteln, Maschinen und Geräten

Die Verfügbarkeit sagt aus, in welchem Maße Systeme zu einem bestimmten Zeitpunkt einsatzfähig sind. Sie dient für folgende Maßnahmen bzw. Festlegungen /2/:

- Ableitung von Forderungen an Konstruktion und Instandhaltungswesen zur Verringerung des Zeitaufwands für Instandsetzung, Wartung und Pflege sowie die konstruktiv vorgesehene Überprüfung.

\* VEB Weimar-Kombinat, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig (Direktor: Dr.-Ing. H. REICHEL)

- Festlegung des höchstzulässigen Zeitaufwands für den Austausch von „Verschleißteilen“ im Sinne der TGL 20 987 (Grenzbedingung für die Festlegung bzw. Kennzeichnung der Verschleißteile).
- Kennziffern in der Landtechnik und im landwirtschaftlichen Betrieb (Arbeitstechnologie).

### 4. Welchen Zwecken dient die Ermittlung der Zuverlässigkeit?

Definitionen der Zuverlässigkeit sind u. a. in /3/ /4/ /5/ /6/ zu finden, auf eine Wiedergabe der Formeln für die einzelnen Zuverlässigkeitsgrößen wird hier verzichtet.

Die Funktion  $F(t)$  ist die Verteilungsfunktion der Ausfälle, sie gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, daß Elemente, Baugruppen, Maschinen oder Systeme in einer bestimmten Zeit ausfallen /5/ /6/.

Für die Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit verwendet man folgende Näherungsformeln

$$F(t) = \frac{N_F}{N} \quad N \geq 100 \quad (2)$$

oder

$$F(t) = \frac{N_F - 0,5}{N} \quad N \leq 100 \quad (3)$$

bzw.

$$F(t) = \frac{N_F}{N + 1} \quad N \leq 100 \quad (4)$$

Die Ermittlung der Zuverlässigkeit ist Voraussetzung dafür, daß eine zielgerichtete Qualitätsverbesserung für landtechnische Arbeitsmittel einschließlich der Instandsetzung und Ersatzteilversorgung erreicht werden kann. Im einzelnen wird nachfolgend aus der Sicht des Landmaschinenherstellers aufgeführt, welchen Zwecken die Ermittlung der Zuverlässigkeit dient:

- Nachweis der Einhaltung der in TGL 20 987 vorgesehenen Mindestgrenznutzungsdauer und mittleren Grenznutzungsdauer
- Einleitung konstruktiver Maßnahmen zur Verringerung der Schadenshäufigkeit und daraus quantitativ der Vergleich der Zuverlässigkeit von konstruktiv oder technologisch geänderten Teilen oder Baugruppen gegenüber der vorhergehenden Ausführung.
- Nachweis über die qualitative Verbesserung der Entwicklungsmuster in Abhängigkeit von der vorherigen Entwicklungsstufe (analog zum vorstehenden Abschnitt)
- Schaffung von Grundlagen über zu erreichende Zuverlässigkeit bei landtechnischen Arbeitsmitteln zur Festlegung von Mindestwerten für die Zuverlässigkeit
- Nutzung der Zuverlässigkeit der Erzeugnisse als sehr wichtiges Verkaufsargument auf dem Weltmarkt
- Ermittlung des volkswirtschaftlichen Nutzens, der durch erhöhten Aufwand vom Hersteller zur Erreichung einer größeren Zuverlässigkeit erreicht worden ist (bei Änderungen innerhalb der Serie bzw. bei Einzelteilen und Baugruppen auch innerhalb der Entwicklungsphase)
- Ableitung exakter Qualitätsforderungen an die Zulieferindustrie
- Vorhersage des Ersatzteilverbrauchs für die Ersatzteilplanung mit Hilfe von Kennziffern über die Nutzungsdauer der landtechnischen Arbeitsmittel für das Jahr und den vorhandenen Maschinenbestand
- Nachweisführung über den Unterschied der Zuverlässigkeit von werksneuen Maschinen, Baugruppen und Einzelteilen zu instand gesetzten Objekten

— Vorgaben von Instandsetzungszyklen (z. B. Mindestgrenznutzungsdauer bis zur ersten Instandsetzung).

## 5. Verteilungsfunktion

Zuverlässigkeit bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit der Teile können durch Verteilungsfunktionen beschrieben werden. Mit Hilfe dieser Verteilungsfunktionen ist es möglich, verschiedene Grenznutzungsdauerwerte von Teilen an Maschinen zu bestimmen.

Für die hier zu behandelnden Belange am wichtigsten sind Exponentialverteilung, Normalverteilung und Weibullverteilung.

Die wichtigsten Eigenschaften dieser Verteilungen sowie die Berechnung ihrer Parameter wurden hier und an anderer Stelle bereits früher behandelt /7/ /8/ /9/, so daß auf Einzelheiten dazu verzichtet werden kann.

## 6. Zu erfassende Daten für Zuverlässigkeitsuntersuchungen

Für die systematische Datenermittlung, bezogen auf eine Kampagne, ist es notwendig, mit allen an der Erfassung beteiligten Partnern — Herstellern, wissenschaftlichen Einrichtungen, Nutzern — die zu erfassenden Daten abzustimmen. Folgende Daten wurden festgelegt:

- Einsatzjahr
- Datum (tägliche Meldung und bei Eintritt des Schadens)
- Betrieb (Nutzer)
- Typ der Maschine
- Maschinenummer
- Baugruppenbezeichnung und Baugruppennummer
- Bezeichnung der eingebauten Ersatzteile
- Ersatzteilnummer
- Neuteil
- instand gesetztes Teil
- Anzahl
- kumulative Leistung des Objektes in ha
- Operativzeit  $T_{02}$  in h
- Störzeit  $T_{41} + T_{42}$  in h
- Ursache des Schadens oder des Ausfalls
  - a) Havariebedingt
  - b) Bedienungsfehler
  - c) Verstopfung durch zu verarbeitendes Gut u. ä.
  - d) Material- und Fertigungsfehler
  - e) Folgeschäden
  - f) sonstige
- Schadenserscheinung
  - a) Verschleiß
  - b) Bruch, Riß
  - c) Korrosion
  - d) bleibende Verformung (Deformation)
  - e) sonstige

Die bisherige manuelle Auswertung der Schäden im Institut für Landmaschinentechnik Leipzig zeigt, daß es erforderlich ist, die maschinelle Rechentechnik einzusetzen. Im wesentlichen handelt es sich dabei um Sortier- und Rechenarbeiten. Entsprechende Schlußfolgerungen daraus sind für die Beleggestaltung sowie für die Informationsverarbeitung zu ziehen.

## 7. Beleggestaltung

Der Beleg zur Aufnahme der Primärdaten (Tafel 1) wurde vom Institut für Landmaschinentechnik Leipzig in Zusammenarbeit mit dem Kombinat Fortschritt Neustadt und dem ORZL Neuenhagen erstellt. Da in der Vergangenheit durchgeführte Erhebungen in Praxisbetrieben die Zweckmäßigkeit kleiner Beleggrößen gezeigt haben, wählte man das Format A 6.

Diese Belege wurden in Blocks zu 50 Blatt herausgegeben, wobei mit einem Durchschlagbogen zu arbeiten und das Original dem Herstellerbetrieb zuzuleiten war. Der im Block verbliebene Durchschlag ermöglicht die Kontrolle und gleichzeitig das Errechnen des jeweils vor Ausschreiben des nächsten Beleges erreichten kumulativen ha-Stands.

Die Felder 14, 15, 17 bis 22 und 24 bis 28 wären lediglich bei Vorliegen des jeweiligen Tatbestands mit einem Kreuz zu versehen.

Die in Feld 6 einzutragende Leistung ist kumulativ anzugeben.

Für das Feld 11 (Baugruppen-Nr.) ist vom Hersteller dann ein Schlüssel auszuarbeiten, wenn die Baugruppen-Nr. im zu verwendenden Ersatzteilkatalog nicht vorhanden sind.

In den Feldern 23 und 29 (Bemerkungen) sind die von den Konstrukteuren geforderten näheren Erläuterungen über den Schaden selbst (z. B. Zapfen gebrochen) verbal einzutragen.

## 8. Auswertung der ermittelten Daten

### 8.1. Ermittlung der Ausfallwahrscheinlichkeit für Baugruppen und Einzelteile

Die Ausfallwahrscheinlichkeit als das Komplement der Zuverlässigkeit wird aufgrund von Abstimmungen mit den an dieser Problematik arbeitenden Institutionen zur Darstellung des Ausfallverhaltens verwendet. Nähere Erläuterungen dazu sind in /8/ enthalten.

Im einzelnen sind folgende Schritte durchzuführen /2/:

#### Schritt 1:

Für jedes ausgefallene Ersatzteil in Zuordnung zur jeweiligen Baugruppe sind für alle untersuchten Maschinen (Masch.-Nr.) gesondert die ha-Leistungen (kumulative Leistungsangabe) bis zum Eintritt eines Schadens und bei nicht ausgefallenen Teilen bis zum Kampagneende aus der Vielzahl der vorhandenen Primärbelege zu ermitteln (Sp. 2 und 3 in Tafel 2). Gleichzeitig ist anzugeben, ob nach dem Schadenseintritt bzw. bei der Instandsetzung ein Neuteil oder ein instand gesetztes Teil eingebaut wurde (Tafel 2, Sp. 4 und 5).

#### Schritt 2:

Berechnung der wirklichen Grenznutzungsdauer (in ha) des ausgefallenen Einzelteils oder der Baugruppe für Neuteile und instand gesetzte Teile sowie der nicht ausgefallenen Teile bis zum Kampagneende (Tafel 2, Sp. 6, 7 und 8) für jede einzelne Maschine.

#### Randbedingung:

Bei Ersatzteilpositionen, von denen mehr als 1 St. in der zugeordneten Baugruppe enthalten sind (z. B. Schlagleisten an der Dreseltrommel), ist für jede untersuchte Maschine nur der Nutzungsdauerwert (Leistung in ha) bis zum ersten Ausfall dieser Ersatzteilposition — enthalten in der zugeordneten Baugruppe — zur weiteren Auswertung zu verwenden. Zur Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit für das Neuteil (im folgenden nur betrachtet) werden also alle anderen Nutzungsdauerwerte nicht herangezogen.

#### Schritt 3:

Bestimmung der Anzahl der betrachteten Objekte (Teile bzw. Baugruppen) zur Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit für Neuteile.

Für beide Fälle gilt die Randbedingung

$$\begin{aligned} n_F &\leq n_3 & N_3 &= 0 \\ n_F &> n_3 & N_3 &= 1, 2, 3 \dots \dots \end{aligned}$$

Es bedeuten:

- $n_F$  Hektarleistung bis zum Ausfall des Objekts
- $n_3$  Hektarleistung des bis zum Kampagneende nicht ausgefallenen Objekts

Jeder  $n_F$ -Wert für die entsprechende Ersatzteilposition (nach der Größe geordnet) muß mit allen  $n_3$ -Werten verglichen werden.

Dazu ist folgende Tabelle notwendig ( $n_3$  aus Tafel 2, Spalte 6 und  $n_F$  aus Tafel 2, Spalte 7):

$$\begin{aligned} n_F \text{ [ha]} & 9, 10, 21, 23, 40, 100, 120, 130, 140 \\ n_3 \text{ [ha]} & 120, 125, 130, 137, 140 \end{aligned}$$



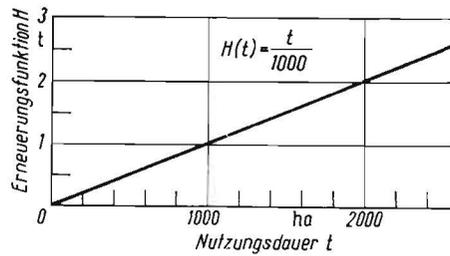
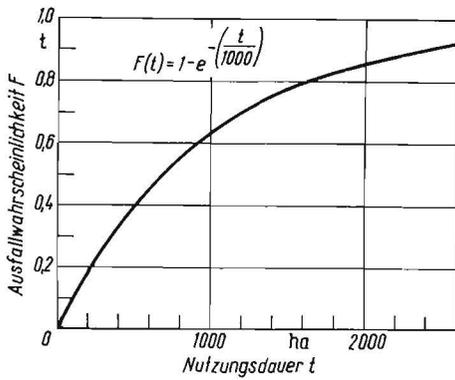


Bild 2. Verlauf der Erneuerungsfunktion  $H(t)$

◀ Bild 1. Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit  $F(t)$

Tafel 3. Auswertung der Teilzeiten

Maschinen-Nr.	Summe der Teilzeiten je untersuchte Maschine für die Leistung						.....	bis ..... ha		
	bis 100 ha		bis 200 ha		..... ha			$T_{02}$	$T_{S1}$	$T_{S2}$
	$T_{02}$	$T_{S1}$	$T_{S2}$	$T_{02}$	$T_{S1}$	$T_{S2}$	$T_{02}$	$T_{S1}$	$T_{S2}$	
Anzahl der beobachteten Maschinen	$\Sigma T_{02}$	$\Sigma T_{S1}$	$\Sigma T_{S2}$	$\Sigma T_{02}$	$\Sigma T_{S1}$	$\Sigma T_{S2}$	$\Sigma T_{02}$	$\Sigma T_{S1}$	$\Sigma T_{S2}$	

$N_F$  ergibt sich aus der unter Schritt 4 dargestellten Ordnung der Leistungswerte,  $N_{\text{Objekt}}$  wurde unter Schritt 3 ermittelt.

$$F(t) = \frac{N_F - 0,5}{N_{\text{Objekt}}}; \quad (N_{\text{Objekt}} \leq 100)$$

Die Ergebnisse der innerhalb der Schritte 3, 4 und 5 durchzuführenden Arbeiten können in nachfolgender Tafel zusammengefaßt werden:

Leistung ha	
$\bar{F}(t)$	%

Schritt 6:

Ermittlung der freien Parameter der Weibull-Verteilung für die Teile und Baugruppen, die einen noch festzulegenden Prozentwert der Ausfallwahrscheinlichkeit erreicht haben. Das Ergebnis dieser Ermittlungen läßt eine eindeutige Aussage über die erreichte Mindest- und mittlere Grenznutzungsdauer entsprechend den Forderungen der TGL 20 987 zu. Damit liegt das exakte Ergebnis der Schwachstellen vor, das eine Entscheidung über wirklich notwendige Änderungen erlaubt. Im Abschnitt 4 sind bereits die möglichen Aussagen mit Hilfe der Kennziffer Ausfallwahrscheinlichkeit genannt.

### 8.2. Ermittlung der Verfügbarkeit des Erzeugnisses

Für die Zusammenfassung der Teilzeiten ist es zweckmäßig, die in Tafel 3 dargestellte Tabelle zu verwenden.

Darin sind die Teilzeiten zur Vereinfachung wie folgt zusammengefaßt worden:

$$T_{S1} = T_{02} + T_{41} + T_{42}$$

$$T_{S2} = T_{31} + T_{61} + T_{62}$$

$T_{S2}$  ist normativ zu bestimmen.

Zweckmäßig ist, diese Zeitsumme bezogen auf eine bestimmte Hektarleistung, z. B. auf 100 ha, zu ermitteln.

Es reicht nicht aus, die Verfügbarkeit nach Abschluß der Kampagne für die insgesamt erbrachte Leistung der beobachteten Maschinen zu berechnen. Das würde bedeuten, daß nur ein Punkt in einem Diagramm ermittelt wird, in dem die Verfügbarkeit über die Leistung [ha] aufgetragen wird.

Aus diesem Grunde wird die Ermittlung der Teilsummen für die Teilzeiten für alle beobachteten Maschinen jeweils für Intervalle von 100 ha durchgeführt.

Diese Auswertung ist in Tafel 3 dargestellt.

Die Auswertung ist am Ende der Kampagne vorzunehmen. Die Ergebnisse sind in einem Diagramm zur Darstellung der Abhängigkeit der Verfügbarkeit von der Leistung der Maschinen aufzutragen.

Sie werden für die aus der Verfügbarkeit abzuleitende Maßnahmen entsprechend Abschnitt 3 verwendet.

### 8.3. Ermittlung der Schadensursachen und -erscheinungen und deren Häufigkeit

Die diesbezügliche Auswertung ist in Bild 1 und 2 dargestellt. Es ist für jede Ersatzteilposition in Zuordnung zur jeweiligen Baugruppe diese Zusammenstellung zu machen.

## 9. Berechnung des Ersatzteilbedarfs

Eine Möglichkeit der Berechnung des Ersatzteilbedarfs besteht, wenn ein Element einer Maschine bis zum Ausfall arbeitet, ersetzt wird und wieder bis zum Ausfall arbeitet, wieder ersetzt wird und weiterarbeitet. Dieser Vorgang wird unbegrenzt fortgesetzt. Die Ausfallzeitpunkte der Teile bilden dabei einen zufälligen Punktprozeß, den man als Erneuerungsprozeß bezeichnet. Bestimmt man die Verteilung der bis zu einem Zeitpunkt aufgetretenen Ausfälle  $n(t)$ , so erhält man die Funktion  $F_n(t)$ . Jetzt kann man die Anzahl von Elementen bestimmen, die man bei einer vorgegebenen Sicherheit von  $1 - \alpha$  benötigt, damit die Arbeit in einem Intervall  $(0, t)$  nicht aus Mangel an Ersatzteilen unterbrochen wird. Dazu muß man das kleinste  $n$  der folgenden Ungleichung bestimmen /4/

$$1 - F_n(t) \geq 1 - \alpha \quad (5)$$

Mit  $1 - \alpha$  wird die Sicherheitswahrscheinlichkeit bezeichnet. Bedeutung hat in praktischen Anwendungen die mittlere Anzahl der Ausfälle im Intervall  $(0, t)$ . Man erhält dafür

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} F_n(t) \quad (6)$$

$H(t)$  wird auch als Erneuerungsfunktion bezeichnet.

Im Falle der Exponentialverteilung erhält man für  $F_n(t)$

$$F_n(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\left(\frac{t}{\theta}\right)^i}{i!} \exp\left(-\frac{t}{\theta}\right) \quad (7)$$

und für die Erneuerungsfunktion

$$H(t) = \frac{t}{\theta} \quad (8)$$

In Abhängigkeit von der Zeit steigt die mittlere Anzahl der Ausfälle linear an. In diesem Fall ist der Ersatzteilbedarf in gleichen Zeiträumen konstant.

Tafel 4. Auswertung 1970: Schadensursachen

Ersatzteilbezeichnung:		ET-Nr.:		Bezeichnung der Baugruppe:		Baugruppen-Nr.:				sonstige Ursachen	
Havarie		Bedienfehler		Verstopfung durch zu verarbeitendes Gut		Material- und Fertigungsfehler		Folgeschäden			
Masch. Nr.	Datum	Masch. Nr.	Datum	Masch. Nr.	Datum	Masch. Nr.	Datum	Masch. Nr.	Datum	Masch. Nr.	Datum

Summe (Anzahl der Dateneingaben) für jede Schadensursache

Tafel 5. Auswertung 1970: Schadenserscheinungen

Ersatzteilbezeichnung;		Ersatzteil-Nr.;		Bezeichnung der Baugruppe, Baugruppen-Nr.						sonstige Schadenserscheinung	
Verschleiß		Bruch oder Riß		bleibende Verformung		Korrosion					
Masch.-Nr.	Datum	Masch.-Nr.	Datum	Masch.-Nr.	Datum	Masch.-Nr.	Datum	Masch.-Nr.	Datum	Masch.-Nr.	Datum

$\Sigma$  (Anzahl der Dateneingaben) für jede Schadenserscheinung

Will man den Ersatzteilbedarf für einen größeren Zeitraum bestimmen, so kann man das asymptotische Verhalten eines Erneuerungsprozesses ausnutzen /4/. Mit der Wahrscheinlichkeit  $1 - \alpha$  gilt, daß die Anzahl der Ausfälle  $n(t)$  zwischen diesen Grenzen liegt.

$$\frac{t}{\varepsilon(t)} - \frac{u}{2} \frac{D(t)}{\varepsilon(t)} \sqrt{\frac{t}{\varepsilon(t)}} < n(t) < \frac{t}{\varepsilon(t)} + \frac{u}{2} \frac{D(t)}{\varepsilon(t)} \sqrt{\frac{t}{\varepsilon(t)}} \quad (9)$$

Darin sind:  $\varepsilon(t)$  Mittelwert der Verteilung  
 $D(t)$  Standardabweichung der Verteilung

Das  $u/2$  wird dabei über Tabellen der Normalverteilung bestimmt. Bei einseitiger Schätzung erhält man  $u$  aus

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 1 - \alpha \quad (10)$$

und  $n(t)$  nach der Gleichung

$$n(t) = \frac{t}{\varepsilon(t)} + u \frac{D(t)}{\varepsilon(t)} \sqrt{\frac{t}{\varepsilon(t)}} \quad (11)$$

Man kann somit für große Zeiträume die notwendige Anzahl von Ersatzteilen bei einer vorgegebenen Sicherheit nur aus Mittelwert und Standardabweichung einfach bestimmen.

Diese aufgezeigten Möglichkeiten der Berechnung des Ersatzteilbedarfs sollen für ein Beispiel durchgeführt werden. Der Ersatzteilbedarf wird für eine Nutzungsdauer von 2000 ha berechnet. Die Ausfallwahrscheinlichkeit des Teils wurde mit Hilfe der Schadensstatistik bestimmt /11/ (Bild 1)

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{1000}\right)$$

$$\varepsilon(t) = 1000 \text{ ha}$$

$$D(t) = 1000 \text{ ha}$$

Die Erneuerungsfunktion lautet dann (Bild 2)

$$H(t) = \frac{t}{1000}$$

Im Mittel werden für dieses Teil in der Nutzungsdauer bis 2000 ha 2 Ersatzteile benötigt.

Bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,90 erhält man mit

$$F_n(t) = \sum \frac{\left(\frac{t}{1000}\right)^i}{i!} \exp\left(-\frac{t}{1000}\right)$$

aus der Ungleichung (5)

$$n = 5$$

Es werden also in der Nutzungsdauer bis 2000 ha bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,90 5 Ersatzteile benötigt.

Wendet man die Formeln (10) und (11) bei einer Sicherheit von 0,9 an, so erhält man für

$$u = 1,281$$

und für

$$n = \frac{2000}{1000} + \frac{1,28 \cdot 1000}{1000} \sqrt{\frac{2000}{1000}}$$

$$= 2 + 1,28 \cdot \sqrt{2} = 4$$

Für eine Nutzungsdauer von 2000 ha ist die Bedingung annähernd erfüllt, daß der Zeitraum  $t$  genügend groß ist ( $t \rightarrow \infty$ ). Es könnte damit für den Bereich bis 2000 ha der Ersatzteilbedarf aus Mittelwert und Standardabweichung errechnet werden. Damit ist die Möglichkeit gegeben, den Ersatzteilbedarf bei Kenntnis der Verteilungsfunktion zu berechnen.

Es muß aber die Bedingung erfüllt sein, daß die Teile nur nach Ausfall erneuert werden. Nur für diesen Fall gelten die angegebenen Formeln.

Literatur

- /1/ GIESKE, J.: Darstellung aller Aufgaben zur Erreichung instandhaltungsgerechter Konstruktionen im Landmaschinenbau in Zuordnung zu den einzelnen Entwicklungsstufen. 1. Entwurf des ILT Leipzig 1969 (unveröffentlicht)
- /2/ GIESKE, J. / J. SCHNEIDERHEINZE: Ermittlung des Schädigungsverhaltens des Mähreschers E 512. Teilabschlußbericht des ILT Leipzig
- /3/ —: TGL 80-22278 (Grundbegriffe der landtechnischen Instandhaltung)
- /4/ GNEDENKO, B. W.: Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie. Akademie-Verlag, Berlin, 1968
- /5/ HUMMITZSCH, P.: Zuverlässigkeit von Systemen. Berlin: VEB Verlag Technik
- /6/ REINSCHKE, K.: Berechnungen zur Ausfallrate und zu anderen quantitativen Zuverlässigkeitskenngrößen. Nachrichtentechnik 19 (1969) H. 2
- /7/ KOHLER, L.: Zu den Grundlagen der Zuverlässigkeit. Deutsche Agrartechnik (1969) H. 4
- /8/ SCHNEIDERHEINZE, J.: Zusammenstellung der Grundlagen für Zuverlässigkeitsbetrachtungen. Teilabschlußbericht 70-233-5 des ILT Leipzig
- /9/ SCHIROSLAWSKI, W.: Anwenden von Verteilungsfunktionen zum Beschreiben des Schädigungsverhaltens landtechnischer Arbeitsmittel. Deutsche Agrartechnik 20 (1970) H. 11, S. 506
- /10/ LIEBSCHER, U.: Projektiv-verzerrtes Wahrscheinlichkeitsnetz für zeitabhängige Vorgänge. Qualitätskontrolle (1967) H. 12
- /11/ SCHNEIDERHEINZE, J.: Die Zuverlässigkeit von Systemen, Teilabschlußbericht des ILT Leipzig, 1970 (unveröffentlicht) A 8274