

Bild 1. Ansicht der kompletten Zahndickenmeßeinrichtung (Funktionsmuster, bei dem ein Mikroskopstativ verwendet wurde)

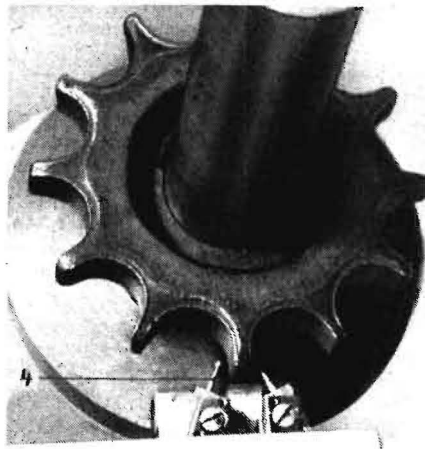


Bild 2. Anordnung der Taster

Literatur

- [1] Müller, J.; Klammert, A.: Schadensanalyse von Rollenkettengetrieben. Maschinenbautechnik, Berlin 26 (1977) 12, S. 559–563.
- [2] Schwedler, A.; Müller, J.: Zum Wirkungsmechanismus der Schädigung an Rollenkettengetrieben. agrartechnik, Berlin 27 (1977) 9, S. 400–402.
- [3] Müller, J.; Grewatsch, R.: Schädigungsanalyse von Profilverbindungen. Maschinenbautechnik, Berlin 28 (1979) 4, S. 157–159.
- [4] Müller, J.: Arbeitsanleitung Rollenkettengetriebe. Landtechnische Informationen, Leipzig (1978) 6, Beilage.
- [5] Einrichtung zum Messen der Abweichung von Kettenradzahnflanken. WP G 01 B/247522/7, 1983.
- [6] Zahndickenmeßeinrichtung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, NV 90/9/83.
- [7] Zahndickenmeßeinrichtung. WP G 01 B/245874, 1983.

A 4031

Ein Verfahren zum Bestimmen des Ausfallverhaltens aus kompletten und unvollständigen weibullverteilten Stichproben

Dr. sc. oec. B. Berten, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft
 Dr.-Ing. D. Grey, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik
 Dipl.-Ing. W. Rohr, VEB Kreisbetrieb für Landtechnik Parchim

Verwendete Formelzeichen

a, b, c, d,	betrachtetes Schadenssortiment
e	
DN	Testgröße des Kolmogorow-Smirnow-Testes
EP	Schätzgenauigkeit des Verteilungsparameters
i	Laufindex der Ausfälle
j	Laufindex der vorbeugenden Instandsetzungen
K	Anzahl der Ausfälle
M	Anzahl der betrachteten Schäden
m	Laufindex der betrachteten Schäden
N	Stichprobenumfang
N_s	Anzahl der Objekte, die das Betriebsdauerintervall T_s ausfallfrei errichten
N_j	Anzahl der in die Stichprobengewinnung einbezogenen Baugruppen
Q	Anzahl der in die Stichprobengewinnung einbezogenen Baugruppen
q	Laufindex der in die Stichprobengewinnung einbezogenen Baugruppen
S	Anzahl der vorbeugenden Instandsetzungen (Stichprobentyp)
s	Zählindex der an einer Baugruppe q auftretenden vorbeugenden Instandsetzungen eines zu erwartenden Schadens
T	Betriebsdauerintervall
T^*	vorgegebenes Betriebsdauerintervall bis zum Abbruch der Stichprobe
T_j	Betriebsdauerintervall vorbeugender Instandsetzungen
T_s	Betriebsdauerintervall der letzten vorbeugenden Instandsetzung
$T_{m, q, s}$	s-tes Betriebsdauerintervall bis zur vorbeugenden Instandsetzung des zu erwartenden Schadens m an der Baugruppe q
t	Betriebsdauer
t_j	Betriebsdauer bis zur vorbeugenden Instandsetzung j
$t_{m, q, k}$	Betriebsdauer bis zur k-ten wiederherstellenden Instandsetzung des an der Baugruppe q eingetretenen Schadens k
$t_{m, q, s}$	Betriebsdauer bis zur s-ten vorbeugenden Instandsetzung des an der Bau-

X_i	gruppe q zu erwartenden Schadens m Grenznutzungsdauer bis zum Eintritt eines betrachteten Schadens i
x_i	Betriebsdauer bis zur wiederherstellenden Instandsetzung i
X_k	Grenznutzungsdauer bis zum Eintritt des letzten Schadens innerhalb von T^*
$X_{m, q, k}$	Grenznutzungsdauer bis zum k-ten Eintritt des an der Baugruppe q auftretenden Schadens m
α, β, η	Parameter der Weibullverteilung

1. Problemstellung

In Anbetracht der zunehmenden Forderung nach einer nachweisbaren Verbesserung der Qualität neuer und instand gesetzter technischer Arbeitsmittel ergibt sich für die auf diesen Gebieten tätigen Einrichtungen die Notwendigkeit, die vorhandene Erzeugnisqualität und die Wirksamkeit qualitätsverbessernder Maßnahmen durch Zuverlässigkeitsanalysen nachzuweisen.

In diesem Zusammenhang erlangt die Ermittlung des Ausfallverhaltens als wesentliches Qualitätsmerkmal besondere Bedeutung. Im nachfolgenden Beitrag wird ein Verfahren zur Bestimmung des Ausfallverhaltens vorgestellt, das im Vergleich zu bisher praktizierten Methoden ein rationelles und zeitsparendes Gewinnen und Auswerten des Datenmaterials ermöglicht.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß das Ausfallverhalten von Einzelteilen, Baugruppen und Maschinen in vielen Fällen durch eine Weibullverteilung beschrieben werden kann [1, 2]. Hieraus resultiert das breite Anwendungsgebiet dieser Verteilung bei der Erarbeitung mathematischer Modelle zur Organisation und Planung von Instandsetzungsprozessen.

Die Genauigkeit der Modellergebnisse wird

wesentlich von der Exaktheit der Primärdaten und von der Genauigkeit der statistischen Ermittlung des Ausfallverhaltens bestimmt.

Infolge begrenzter Untersuchungszeiträume, geringer Anzahl von Untersuchungsobjekten, Durchführung vorbeugender Instandsetzungsmaßnahmen sowie Besonderheiten bei der Datenerfassung liegen die Primärdaten häufig in Form einfach oder mehrfach unvollständiger Stichproben vor.

Der häufigste Grund für die Verwendung unvollständiger Stichproben liegt darin, daß der Untersuchungszeitraum i. allg. begrenzt ist. Einfach unvollständige Stichproben ergeben sich dann, wenn die Beobachtung des Ausfallverhaltens entweder zu einem vorgegebenen Zeitpunkt T^* der Betriebsdauer (Typ I) oder nach der Anzahl $K < N$ von Ausfällen (Typ II) abgeschlossen wird.

Von den restlichen (nicht gemessenen) $N - K$ Grenznutzungsdauern ist bekannt, daß sie größer als T^* bzw. X_k sind. Diese Information wird in den statistischen Analysen unvollständiger Stichproben zur Bestimmung des Ausfallverhaltens ebenfalls genutzt.

Nachfolgend soll die Anwendung einer starr periodischen Instandhaltungsmethode mit vollständiger Erneuerung des Objekts im Schadensfall erläutert werden (Bild 1).

Unter den genannten Voraussetzungen vollzieht sich die Ausfallanalyse eines Objekts über einen entsprechend langen Zeitraum T^* analog der Analyse von N Objekten.

Bei vorliegenden Instandsetzungsmaßnahmen sind neben X_i ($i = 1 \dots 4$) jedoch alle vorbeugenden Instandsetzungsintervalle T_j ($j = 1 \dots 5$), gemessen in Betriebsdauereinheiten, als vorzeitiger Abschluß der Grenznutzungsdauerbeobachtung zu behandeln.

Tafel 1. Angaben und Daten für das Auswerten der an einer Baugruppe gewonnenen mehrfach unvollständigen Stichprobe (vgl. Bild 1)

in bezug auf den betrachteten Schaden vorbeugende Instandsetzung	Betriebsdauerintervalle T_j zwischen aufeinanderfolgenden vorbeugenden Instandsetzungen (größenmäßig geordnet)	Häufigkeit N_j gleichgroßer Werte T_j	Betriebsdauerintervalle X_i aufeinanderfolgender wiederherstellender Instandsetzungen (größenmäßig geordnet)	Kennwerte der Stichprobe		
				S	K	N
Grundinstandsetzung nach Ablauf von T	T_2	1	X_2	5	4	9
	T_3	1	X_1			
	T_5	1	X_3			
	T_1	1	X_4			
	T_4	1				

In Verallgemeinerung des beobachteten Beispiels enthält eine S-fach unvollständige Stichprobe die Betriebsdauerintervalle X_i bis X_K der Ausfälle sowie die Betriebsdauerintervalle T_1 bis T_S , die von N_1 bis N_S Objekten ausfallfrei erreicht werden (durch vorbeugende Instandsetzung oder Abbruch der Beobachtung). Es sei darauf hingewiesen, daß eine mehrfach unvollständige Stichprobe auch dann vorliegt, wenn unterschiedliche Instandhaltungsmethoden oder -zyklen realisiert werden oder die Betriebsdauer durch den Eintritt eines anderen Schadens beendet wird. Zusammenfassend läßt sich eine mehrfach unvollständige Stichprobe also derart charakterisieren, daß von den N in die Betriebsdaueranalyse einbezogenen Objekten eine Anzahl von K Objekten aufgrund des betrachteten Schadens nach den Betriebsdauerintervallen X_1 bis X_K ausgefallen ist, während von den restlichen $N - K$ Objekten lediglich bekannt ist, daß jeweils N_j Objekte innerhalb des Betriebsdauerintervalls T_j (bis zur Durchführung einer vorbeugenden Instandsetzung, bis zum Eintritt eines anderen Schadens oder bis zum Abbruch der Beobachtung) störungsfrei gelaufen sind. Diese Information wird in den statistischen Analysen mehrfach unvollständiger Stichproben zur Bestimmung des Ausfallverhaltens ebenfalls genutzt. Ein spezielles Verfahren zur Auswertung mehrfach unvollständiger Stichproben wird von Bertin [3, 4] angegeben. Es enthält als Spezialfälle auch die einfach unvollständige ($S = 1$) und die komplette ($S = 0$) Stichprobe.

Auf der Grundlage dieses Verfahrens wurde ein EDV-Programm zum Bestimmen des Ausfallverhaltens aus mehrfach unvollständigen

Stichproben erarbeitet [5]. Das Rechenprogramm liegt in der Programmiersprache FORTRAN anwendungsbereit vor. Es beinhaltet die Schätzung der Parameter β und α bzw. η der Weibullverteilung auf der Grundlage des Maximum-Likelihood-Verfahrens.

Im ersten Teilprogramm werden zu vorgegebener Genauigkeit EP für den Formparameter β , der iterativ ermittelt werden muß, Parameterschätzungen vorgenommen und Vertrauensgrenzen für die geschätzten Parameter ermittelt.

Im zweiten Teilprogramm wird die Testgröße DN für den Kolmogorow-Smirnow-Test berechnet und die Verteilungshypothese zum Signifikanzniveau 0,95 überprüft. Die explizite Angabe von EP gestattet auch die Auswahl eines anderen Signifikanzniveaus.

2. Aufbereitung der Eingabedaten

Die Datenaufbereitung, die am Beispiel der im Bild 1 dargestellten Stichprobe erläutert werden soll, erfolgt in folgenden Schritten:

- Bestimmen des Stichprobentyps
Nach Ablauf des Betriebsdauerintervalls T erfolgt eine Grundinstandsetzung. Diese Grundinstandsetzung stellt, falls sie zeitlich nicht mit dem Eintritt des betrachteten Schadens zusammenfällt (und dies ist entsprechend Bild 1 nicht der Fall) eine vorbeugende Instandsetzung dieses Schadens dar. Somit umfaßt die Stichprobe t_j ($j = 1 \dots 5$) vorbeugende und x_i ($i = 1 \dots 4$) wiederherstellende Instandsetzungstermine. Es liegt eine 5fach unvollständige Stichprobe vor.
- Ermitteln der Betriebsdauerintervalle der

wiederherstellenden und vorbeugenden Instandsetzungen T_j und X_i

- Ordnen der Werte T_j und X_i der Größe nach
- Bestimmen der Häufigkeit N_j gleicher Betriebsdauerintervalle T_j
- Ermitteln der die Stichprobe charakterisierenden Größen S (Anzahl der vorbeugenden Instandsetzungen) und K (Anzahl der Ausfälle)
- Auswahl der Schätzgenauigkeit EP des Formparameters β
- Eingabe der Werte S, K, EP, T_j , N_j , X_i
- Programmbearbeitung und Ausdruck der Ergebnisse.

Tafel 1 enthält eine Zusammenstellung der für die Auswertung der im Bild 1 dargestellten Stichproben erforderlichen Angaben und Daten.

3. Spezielle Probleme der Schadensanalyse

Bei praktischen Untersuchungen ist es i. allg. nicht möglich, die für das statistisch gesicherte Bestimmen des Ausfallverhaltens erforderliche Datenmenge durch das Betrachten eines einzelnen Objekts (z. B. einer Baugruppe oder einer Maschine) zu gewinnen.

Zum einen tritt der betrachtete Schaden nicht isoliert auf, und das Ausfallverhalten infolge dieses Schadens wird durch andere Schäden beeinflusst. Zum anderen wird der Untersuchungszeitraum unvermeidbar groß.

Es ist deshalb häufig notwendig, Q Baugruppen, an denen M unterschiedliche Schäden eintreten können, in die Datenerfassung einzubeziehen. Hierbei kann die Beseitigung eines Schadens die vorbeugende Instandsetzung anderer Schädigungselemente einschließen.

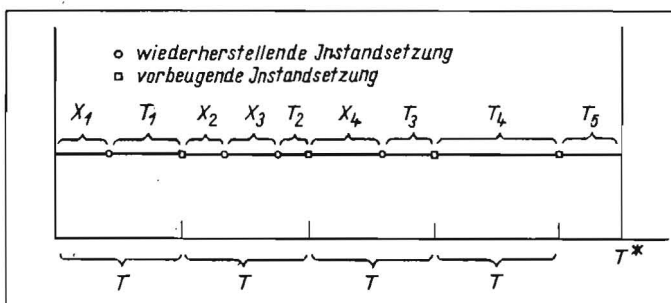
Für die Stichprobenauswertung ist hierbei unwesentlich, ob diese vorbeugende Instandsetzung technologisch bedingt oder instandsetzungsorganisatorisch vorgeschrieben ist.

Derartige Beziehungen zwischen den auftretenden Instandsetzungsmaßnahmen sind vor Beginn der Datenaufbereitung sorgfältig zu klären. Die Auswertung einer Stichprobe wird nachfolgend an einem Beispiel erläutert.

Problematik:

An einer Baugruppe können die Schäden a, b, c, d und e auftreten. Art und Inhalt der zu ihrer Beseitigung durchzuführenden Instand-

Bild 1. Stichprobengewinnung bei starr periodischer Instandhaltungsmethode mit dem Zyklus T und Abbruch der Stichprobe nach dem Betriebsdauerintervall T^*



Tafel 2. Zusammenstellung der betrachteten Schäden sowie Art und Inhalt der Instandsetzungsmaßnahmen

Schaden	Art der Instandsetzungsmaßnahme	Inhalt der Instandsetzungsmaßnahme
a	individuelle Teilinstandsetzung	Erneuerung aller am Entstehen des Schadens a beteiligten Schädigungselemente
b	komplexe Teilinstandsetzung mit Schaden c	Erneuerung aller am Entstehen der Schäden b und c beteiligten schadhafte Schädigungselemente
c	komplexe Teilinstandsetzung mit Schaden b	
d	Grundinstandsetzung der Baugruppe	Erneuerung aller schadhafte Einzelteile der Baugruppe
e		

Tafel 3. Angaben und Daten für die Auswertung mehrfach unvollständiger Stichproben (vgl. Bilder 2 und 3)

betrachteter Schaden m	in bezug auf Schaden m vorbeugende Instandsetzungsmaßnahme ¹⁾	Grenznutzungsdauerwerte $T_{m,q,s}$ vorbeugender Instandsetzungen des Schadens m	Grenznutzungsdauerwerte $X_{m,q,k}$ wiederherstellender Instandsetzungen des Schadens m	Kennwerte der Stichproben S K N
a	GI anläßlich Schaden d GI anläßlich Schaden e	$T_{d,1,1}$ $T_{e,2,1}; T_{e,3,1}; T_{d,4,1}; T_{c,5,1}$	$X_{a,1,1}; X_{a,1,2}; X_{a,2,1}$ $X_{a,5,1}; X_{a,5,2}$	4 5 9
b	GI anläßlich Schaden d GI anläßlich Schaden e komplexe TIS anläßlich Schaden c	$T_{d,1,1}; T_{c,2,1}$ $T_{e,2,1}; T_{e,3,1}; T_{c,3,2}$ $T_{e,3,1}; T_{d,4,1}; T_{c,5,1}$	$X_{b,1,1}; X_{b,2,1}$	8 2 10
c	GI anläßlich Schaden d GI anläßlich Schaden e komplexe TIS anläßlich Schaden b	$T_{b,1,1}; T_{d,1,1}$ $T_{b,2,1}; T_{e,2,1}; T_{e,3,1}$ $T_{d,4,1}$	$X_{c,2,1}; X_{c,3,1}; X_{c,3,2}; X_{c,5,1}$	6 4 10
d	GI anläßlich Schaden e	$T_{e,2,1}; T_{e,3,1}; T_{c,5,1}$	$X_{d,1,1}; X_{d,4,1}$	3 2 5
e	GI anläßlich Schaden d	$T_{d,1,1}; T_{d,4,1}; T_{c,5,1}$	$X_{e,2,1}; X_{e,3,1}$	3 2 5

1) GI Grundinstandsetzung, TIS Teilinstandsetzung

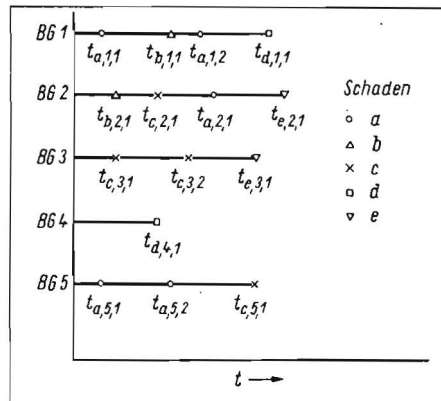


Bild 2. Stichprobengewinnung unter Einbeziehung von 5 Baugruppen (BG) und Betrachtung der Schäden a bis e

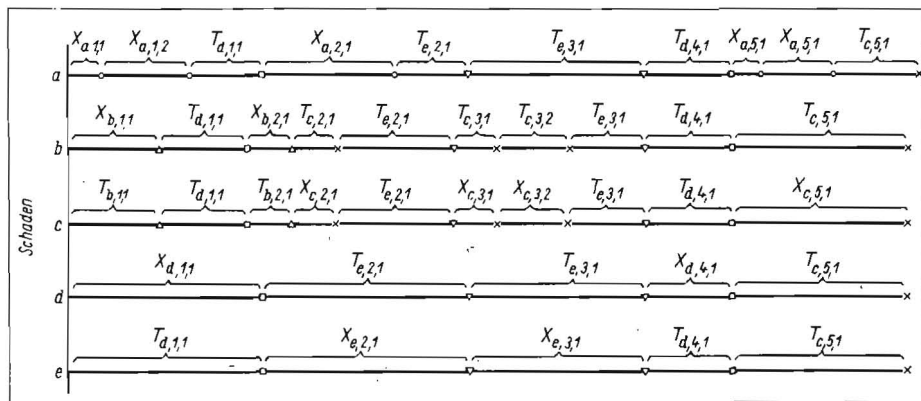


Bild 3. Aufbereitung des Datenmaterials einer an 5 Baugruppen gewonnenen mehrfach unvollständigen Stichprobe (vgl. Bild 2)

setzungsmaßnahmen sind in Tafel 2 zusammengestellt.

Das durch die einzelnen Schäden verursachte Ausfallverhalten ist zu bestimmen. In die Datenerfassung sind $Q = 5$ Baugruppen einbezogen.

Im Bild 2 sind das Ausfallverhalten und die zeitliche Folge der Instandsetzungen dargestellt.

Zur Stichprobenaufbereitung:

1. Bestimmen des Stichprobentyps

Im Bild 2 ist ersichtlich, daß jede Stichprobe vorbeugende Instandsetzungsmaßnahmen enthält und somit ein- oder mehrfach unvollständig ist.

2. Ermitteln der Betriebsdauerintervalle $T_{m,q,s}$ und $X_{m,q,k}$ aus den im Bild 2 dargestellten Betriebsdauerwerten $t_{m,q,s}$ und $t_{m,q,k}$ (Bild 3) vorbeugender und wiederherstellender Instandsetzungsmaßnahmen.

Beispiel:
Die Betriebsdauerintervalle vorbeugender $T_{m,q,s}$ und wiederherstellender $X_{m,q,k}$ Instandsetzungen des Schadens a ergeben sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 X_{a,1,1} &= t_{a,1,1}; T_{a,1,1} = t_{d,1,1} - t_{a,1,2} \\
 X_{a,1,2} &= t_{a,1,2} - t_{a,1,1}; T_{a,2,1} = t_{e,2,1} \\
 X_{a,2,1} &= t_{a,2,1}; T_{a,3,1} = t_{e,3,1} \\
 X_{a,5,1} &= t_{a,5,1}; T_{a,4,1} = t_{d,4,1} \\
 X_{a,5,2} &= t_{a,5,2} - t_{a,5,1}; T_{a,5,1} = t_{c,5,1} - t_{a,5,2}
 \end{aligned}$$

3. Überprüfen, ob die an den einzelnen Baugruppen gewonnenen Daten zu einer Stichprobe zusammengefaßt werden können (Anwenden des U-Testes)

4. Zusammenfassen der einer Stichprobe zu-

zuordnenden Daten und Ordnen der Werte T_i und X_i der Größe nach.

Die weitere Stichprobenaufbereitung erfolgt entsprechend den bereits angegebenen Schritten 4 bis 8.

Die für das Auswerten der Stichprobe erforderlichen Angaben und Daten sind in Tafel 3 enthalten.

Die beschriebene Art der Datenerfassung und -auswertung bietet gegenüber bisher praktizierten Verfahrensweisen folgende Vorteile:

- gemeinsame Datenerfassung für das Bestimmen des durch mehrere unterschiedliche Schäden verursachten Ausfallverhaltens
- Erweiterung der Datenbasis durch das Auswerten der von vorbeugend instandgesetzten oder infolge anderer Schäden ausgefallenen Objekten gelieferten Informationen
- rationelle Gestaltung der Datenerfassung und -auswertung.

4. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird ein Verfahren zur Auswertung kompletter und unvollständiger weibullverteilter Stichproben vorgestellt.

Nach einer Charakterisierung kompletter sowie einfach und mehrfach unvollständiger Stichproben und Hinweisen auf das Auftreten dieser Stichprobenarten in der Praxis erfolgt eine Beschreibung eines EDV-Programms für die Stichprobenauswertung.

Anhand von Beispielen werden die Beson-

derheiten der Aufbereitung der Eingabedaten erläutert und Hinweise für die Programmnutzung gegeben.

Die vorgestellte Methodik gestattet eine im Vergleich zu bisher bekannten Verfahren rationellere Arbeitsweise beim Durchführen von Schadensanalysen.

Literatur

- [1] Schiroslawski, W.: Anwenden von Verteilungsfunktionen zum Beschreiben des Schädigungsverhaltens landtechnischer Arbeitsmittel. Dt. Agrartechnik. Berlin 20 (1970) 11, S. 506-510.
- [2] Schulz, W.: Die Weibull-Verteilung, ihre Anwendung und statistische Behandlung. In: Sitzungsberichte der Interessengemeinschaft Statistik der Mathematischen Gesellschaft der DDR (1979) 3.
- [3] Berten, B.: Zum Einsatz mathematisch-statistischer Verfahren bei der Analyse des Ausfallverhaltens von Instandhaltungsobjekten. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 27 (1978) 9.
- [4] Berten, B.: Laufzeitermittlung von Instandhaltungsprojekten aus unvollständigen Stichproben. Ingenieurhochschule Wismar, Tagungsbericht 1979.
- [5] Rohr, W.: Bestimmen optimaler Instandsetzungsstrategien im Rahmen der Instandhaltungsmethode nach Überprüfung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1982 (unveröffentlicht).
- [6] Weber, E.: Grundriß der biologischen Statistik. Jena: VEB Gustav-Fischer-Verlag 1967. A 3921