

# Beitrag der Landmaschinenindustrie zur weiteren Verbesserung der Materialökonomie durch die Einzelteilinstandsetzung

Dr.-Ing. H.-J. Petersohn, KDT, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Forschungszentrum des Landmaschinenbaus, Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig

## 1. Erarbeitung von technischen Dokumentationen zur Einzelteilinstandsetzung (ETI)

Die durch das Kombinat Fortschritt Landmaschinen zu erbringenden Leistungen auf diesem Gebiet sind mit dem Bereich Mechanisierung des MLFN abgestimmt und im GBl. So.-Dr. 805/1 [1, 2] veröffentlicht. Danach ist für Instandsetzungswürdige Verschleißteile der Serienerzeugnisse sowie für Neu- und Weiterentwicklungen eine „Technische Dokumentation zur Instandsetzung von Einzelteilen“ zu erarbeiten. Diese ist mit dem für den jeweiligen Maschinentyp zuständigen Instandsetzungsleitbetrieb abzustimmen und ihm zur Erarbeitung von Instandsetzungstechnologien zu übergeben. Diese Dokumentation nimmt folgende Formen an, wobei jeweils konkret vereinbart wird, welche Form zu erarbeiten und zu übergeben ist:

- Ein dem Änderungsdienst unterliegender Zeichnungssatz für das komplette Erzeugnis. Damit kann u. a. die Instandsetzung von solchen Ersatzteilen im Instandsetzungsbetrieb technisch vorbereitet und organisiert werden, die die Schutzgüte und Zuverlässigkeit der Maschine nicht und ihre Funktion nur unwesentlich beeinflussen (Beispiel: Instandsetzung von figurellen Blechteilen mit Hilfe von An- und Einschweißteilen.)
- technische Annahmebedingungen für Sammelstellen zur Unterstützung des Zirkulationsprozesses „instandsetzungswürdige Ersatzteile gegen in stand gesetzte bzw. neue Ersatzteile“ nach dem Tauschprinzip 1:1
- technische Angaben zur ETI
- Angabe und Bezugsmöglichkeiten der An- und Einarbeitungsteile, wenn diese zur ETI verwendet werden. Darüber hinaus können arbeitsgangbezogene Kooperationsleistungen zur ETI vertraglich vereinbart werden.

Für die Erarbeitung, Abstimmung, Bestätigung sowie Anwendung der ETI-Dokumentation nach Abschn. 1 und 2 werden spezielle Vordrucke verwendet [3, 4]. Nachfolgend soll auf den erreichten Arbeitsstand eingegangen werden.

### 1.1. Technische Dokumentationen ETI

Seit 1981 werden die „Technischen Dokumentationen ETI“ durchgängig entsprechend den seit diesem Zeitraum gültigen Regelungen in [2, 3] erarbeitet, mit den Instandsetzungsbetrieben abgestimmt und diesen pausfähig übergeben. Für die Planabrechnung des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen werden nur solche Dokumentationen berücksichtigt, deren Anwendungsbereitschaft durch die Instandsetzungsleitbetriebe mit Unterschrift bestätigt worden ist. Im Jahr 1981 traf das für 93 ETI-Dokumentationen ( $\cong 115\%$  Planerfüllung) und 1982 für

81 ETI-Dokumentationen ( $\cong 119\%$  Planerfüllung) zu.

Außer für alle mobilen Haupterzeugnisse der Serienproduktion wurden technische Lösungen zur ETI auch für die Kartoffelaufbereitungstechnik sowie für Neu- und Weiterentwicklungen, wie z. B. Mähdrescher E 514, Kartoffelverladeroder E 686, erarbeitet und übergeben.

In der Summe der Kombinatserzeugnisse existieren mit Stand Dezember 1982 für rd. 1 500 Ersatzteilpositionen technische Lösungen für die ETI.

### 1.2. An- und Einarbeitungsteile

Durch die Bereitstellung von An- und Einarbeitungsteilen (Instandsetzungselemente) anstelle kompletter Ersatzteile werden wesentliche Material-, Energie- und Fertigungszeitsparungen erreicht (Bild 1).

Im Angebotssortiment An- und Einschweißteile der Betriebe des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen befinden sich z. Z. die Erzeugnisse

- Mähdrescher E 512, Feldhäcksler E 280/281, Schwadmäher E 301/302, Hochdruckpresse K 453/454
- Rodetrennlader E 665, Rodelader E 684, Mobilkran T 174
- Traktor ZT 300/303
- Rübenrodelader KS-6, Aufsattel-Beetpflug B 201/202.

## 2. Technisch-ökonomische Analysen zum Nutzeffekt der ETI

In einem speziellen Datenspeicher ETIVER (ETI-Verzeichnis) wurden alle interessierenden technischen und ökonomischen Parameter der z. Z. existierenden rd. 1 500 ETI-Lösungen des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen abrufbereit gespeichert. Über Nutzerprogramme des Prozeßrechners SM-4 im Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Forschungszentrum des Landmaschinenbaus, Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig, können damit begründete technisch-ökonomische Führungsgrößen für die Organisation des ETI-Prozesses und mit relativ großem Datenumfang unteretzte Leitungsentscheidungen rationell abgeleitet werden.

### Beispiel 1

Tafel 1 zeigt aus dem Datenspeicher ETIVER ermittelte Preisverhältnisse  $IAP_{ET}/IAP_{NET}$  als Mittelwert  $\bar{x}$  mit Variationskoeffizient  $V$  je betrachtetes Erzeugnis.

Die kostendeckend kalkulierten Preisverhältnisse  $IAP_{ET}/IAP_{NET}$  liegen danach im Bereich von  $\bar{x} = 23,3\%$  (E 684) bis  $68,3\%$  (A 200).

Die zulässige obere Grenze beträgt bekanntlich  $70\%$ .

Die Streuung der einzelnen  $IAP$ -Verhältnisse um den Mittelwert, durch den Variationskoeffizienten  $V$  angegeben, verhält sich umgekehrt proportional. Er liegt für o. g. Maschinen im Bereich von  $V = 0,65$  (E 684) bis  $0,04$  (A 200).

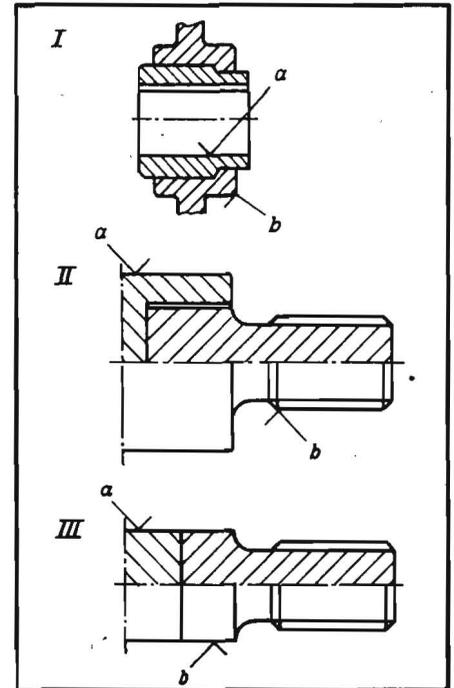


Bild 1. Einzelteilinstandsetzung mit An- und Einarbeitungsteilen;  
I Preßverbindung, Buchse oberflächenbehandelt (a Einarbeitungsteil Stahlbuchse, b Nabe aus Graugußlegierung)  
II Preßverbindung, Zapfen oberflächenbehandelt (a Baustahl, b Anarbeitszapfen aus Vergütungsstahl)  
III Reibschweißverbindung (a Baustahl, b Anarbeitszapfen aus Vergütungsstahl)

Die Relationspreise  $IAP_{ET}/IAP_{NET}$  liegen in den unteren Instandsetzungsebenen, wie sie z. B. für die Erzeugnisse der Grundtechnik gegeben sind, mit geringer Streuung im Bereich der zulässigen Grenze.

Es müssen deshalb nach dieser Analyse besonders für Erzeugnisse der Grundtechnik die technologischen Aufwendungen für die ETI weiter reduziert werden. Gleichzeitig muß auch für die Grundtechnik eine ausreichende Zuverlässigkeit der in stand gesetzten Teile gesichert werden.

Aus der Sicht des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen ist als Schlußfolgerung die gezielte Verwendung von An- und Einschweißteilen für die ETI dazu ein effektiver Weg. In der Regenerierungskonzeption für die Jahre 1982 bis 1985 des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen als Führungsdokument des Generaldirektors ist z. B. auch die verstärkte Bereitstellung von An- und Einschweißteilen konzipiert.

### Beispiel 2

Die in Tafel 1 gezeigten Kostenverhältnisse  $IAP_{ET}/IAP_{NET}$  gehen von einmaliger Verwen-

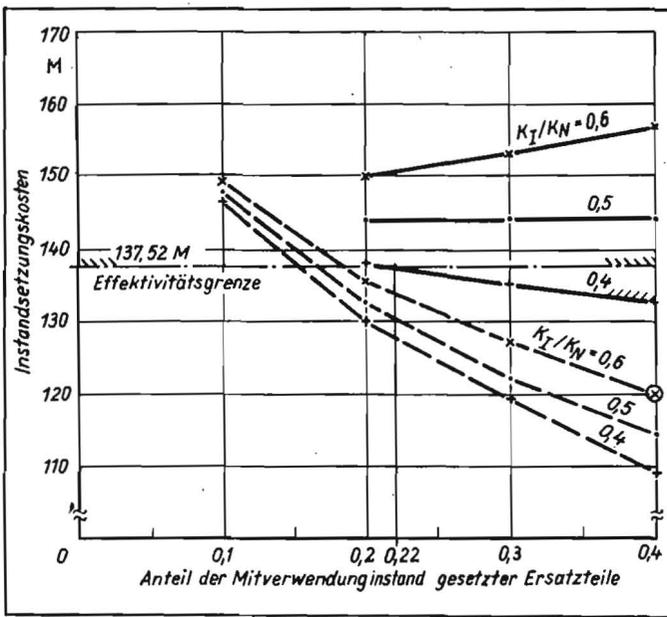


Bild 2  
Kostenkurven einer auf Haltbarkeit experimentell untersuchten Zahnwelle;  
 $K_N = 95,50 \text{ M}$ ,  
 $S = 1,15 \text{ M}$ ,  
 $K_p = 40 \text{ 000 M}$ ,  
 $W = 2 \text{ Ersatzteile/Maschine}$ ,  $\bar{M}_{\text{DDR}} = 8 \text{ 000 Maschinen}$ ,  
 $VKZ_{\text{IK}} = VKZ_{\text{NK}} \rightarrow 0$ ,  
 $k = 12 \text{ Jahre}$   
--- Variante 1  
— Variante 2

zur Verschrottung in Anzahl Maschinen.

Durch Variation der aus dem genannten Datenspeicher ETIVER zu entnehmenden Eingangsparameter können mit Gl. (1) rechnergestützt (Prozeßrechner SM-4) Grenzverhältnisse der IAP und VKZ in stand gesetzter Ersatzteile bezogen auf Neuersatzteile berechnet werden. Gleichzeitig ergibt sich damit der Mindestanteil  $\mu$  der Mitverwendung in stand gesetzter Ersatzteile in einer solchen Höhe, daß die ETI effektiv wird. Dieser Anteil  $\mu$  der Mitverwendung in stand gesetzter Ersatzteile ist eine wichtige Führungsgröße für die Organisation des ETI-Prozesses. Er gibt an, wieviel Instandsetzungswürdige Ersatzteile der betrachteten Positionen mindestens gewonnen und über den Zirkulationsprozeß der ETI zugeführt werden müssen, damit Anwendernutzen durch Senkung der anteiligen Instandsetzungskosten und Herstellernutzen durch Freisetzen der entsprechenden Fertigungskapazitäten entsteht. Bild 2 zeigt als Beispiel Kostenkurven nach Gl. (1) einer im VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen auf Haltbarkeit experimentell untersuchten Zahnwelle aus Vergütungsstahl St 42 MnV7 (siehe Abschn. 3). Auf der Abszisse ist der Anteil  $\mu_v$  der bei vorbeugenden komplexen Instandsetzungen verwendeten regenerierten Ersatzteile, und auf der Ordinate sind die sich ergebenden anteiligen Instandsetzungskosten dargestellt.

ding in stand gesetzter Ersatzteile bezogen auf einmalige Verwendung von fabriktneuen Ersatzteilen aus. Infolge unterschiedlichen Schädigungsverhaltens der in stand gesetzten und der Neuersatzteile ist es jedoch möglich, daß die im Einzelfall zwar billigeren Instandsetzungen mit Hilfe regenerierter Ersatzteile in der Nutzungsdauer der Maschine so oft auftreten, daß die Gesamteinstandsetzungskosten höher werden als bei abschließlicher Verwendung von Neuersatzteilen. Es genügt deshalb nicht in jedem Fall, den Nutzeffekt der ETI durch den einmaligen Vergleich von Kosten und Zuverlässigkeit neuer und in stand gesetzter Ersatzteile zu ermitteln. Vielmehr muß diese Betrachtungsweise auf die wahrscheinliche mittlere Maschinennutzungsdauer bis zur Verschrottung (rd. 12 bis 15 Jahre und länger) ausgedehnt werden. Außerdem muß der Anteil der Mitverwendung in stand gesetzter Ersatzteile im Versorgungsprozeß  $\mu$  berücksichtigt werden [5]. Dafür wurde in [6] ein geeignetes Rechenmodell entwickelt.

Für den Fall, daß die Kampagne-Ersatzteil-Verbrauchskennzahlen (VKZ) vernachlässigbar klein sind und Prüfkosten  $K_p$  für die Zuverlässigkeitssicherung entstehen, die zu berücksichtigen sind, nimmt das Rechenmodell nach [6] folgende Form an:

$$[K_I (k-1) \overline{VKZ}_{\text{IV}} \mu_v] + [(K_N - S) (k-1) \overline{VKZ}_{\text{NV}} (1 - \mu)] + \frac{K_p}{W \bar{M}_{\text{DDR}} (k-1) \overline{VKZ}_{\text{IV}} \mu_v} \geq (K_N - S) (k-1) \overline{VKZ}_{\text{NV}} \quad (1)$$

- $K_I$  Kosten für die ETI der betrachteten Ersatzteilposition ( $\hat{=}$  IAP<sub>ET</sub>) in M/Stück
- $K_N$  Kosten für die Herstellung der betrachteten Ersatzteilposition ( $\hat{=}$  IAP<sub>NET</sub>) in M/Stück
- $k$  wahrscheinliche Nutzungsdauer der zugeordneten Maschine in Jahren bis zur Verschrottung
- $\mu_v$  Anteil der Mitverwendung in stand gesetzter Ersatzteile bei vorbeugenden komplexen Instandsetzungen
- $\overline{VKZ}_{\text{IV}}$  Mittelwert der einzelteilbezogenen Verbrauchskennzahl in stand gesetzter Ersatzteile für vorbeugende komplexe Instandsetzungen
- $\overline{VKZ}_{\text{NV}}$  Mittelwert der einzelteilbezogenen Verbrauchskennzahl der Neuersatzteile für vorbeugende komplexe Instandsetzungen
- $S$  Schrotterlös in M
- $K_p$  Prüfkosten für Zuverlässigkeitssicherungsmaßnahmen in stand gesetzter Ersatzteile in M
- $W$  Wiederholfaktor der betrachteten Ersatzteilposition in der Maschine in Stück/Maschine
- $\bar{M}_{\text{DDR}}$  zu erwartender mittlerer Maschinenbestand des betrachteten Erzeugnistyps im Betrachtungszeitraum  $k$  bis

#### Parameter

**Zuverlässigkeitsverhältnisse**, ausgedrückt durch die  $VKZ_{\text{IV}}$  für in stand gesetzte Zahnwellen bzw.  $VKZ_{\text{NV}}$  für neue Zahnwellen  
—Die Variante 1 „Gleiche Zuverlässigkeit“ war die Zielstellung für den zu erbringenden Haltbarkeitsnachweis ( $VKZ_{\text{IV}} = 0,1325$ ,  $VKZ_{\text{NV}} = 0,1325$ ).  
—Die Variante 2 „Ungleiche Zuverlässigkeit“ entsprach dem Ergebnis des Haltbarkeitsnachweises ( $VKZ_{\text{IV}} = 0,2857$ ,  $VKZ_{\text{NV}} = 0,1325$ ).

**Kostenverhältnisse** für in stand gesetzte und neue Zahnwellen im Bereich  $K_I/K_N = 0,4 \dots 0,6$

Es ist zu erkennen, daß nach den Ergebnissen der Haltbarkeitsprüfung die Effektivität einer ETI dieser Zahnwellen dann gegeben ist, wenn

- das Kostenverhältnis  $K_I/K_N$ , also IAP<sub>ET</sub>/IAP<sub>NET</sub>, nicht wesentlich schlechter als 0,4 ist
- mindestens  $\mu_v = 0,22$ , also 22 % des Gesamtaufkommens, aus regenerierten Zahnwellen der betrachteten Position realisiert werden.

### 3. Zuverlässigkeitssicherung in stand gesetzter Schwerpunkt-Ersatzteile

Wie im Beispiel 2 herausgearbeitet wurde, kommt der Zuverlässigkeitssicherung regenerierter Schwerpunkt-Ersatzteile eine entscheidende Rolle für den anwender- und herstellerseitigen Nutzeffekt der ETI zu. Der Zuverlässigkeitssicherungsprozess, speziell der Haltbarkeitsnachweis, ist weiterhin Grundvoraussetzung für die Erweiterung des ETI-Sortiments auf Sicherheitspositionen, wie Brems- und Lenkungsteile, sowie für die Einführung neuer ETI-Verfahren, wie z. B. Widerstands-Rollnaht-Beschichten.

Im VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen wurden deshalb im Berichtszeitraum Haltbarkeitserprobungen auf der servohydraulischen Prüfanlage EDYZ 3-4 an sicherheitsbe-

Maschinentyp	Anzahl der ETI-Dokumentationen <sup>1)</sup>	$\bar{x} = \text{IAP}_{\text{ET}}/\text{IAP}_{\text{NET}}$ %	V
E 684	25	23,3	0,65
KS-6	46	27,0	0,73
E 665	72	39,9	0,42
B 500	10	41,4	0,36
E 023	20	42,2	0,43
B 501	12	42,3	0,40
B 601/602	7	51,3	0,44
P 437	13	54,4	0,29
B 200	13	54,9	0,26
D 032	7	64,4	0,07
A 200	14	68,3	0,04

1) Basis VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen  
V Variantenkoeffizient, IAP Industrieabgabepreis, IET in stand gesetzte Ersatzteile, NET Neuersatzteil

Tafel 1  
Aus dem Datenspeicher ermittelte Preisverhältnisse

stimmenden regenerierten Ersatzteilpositionen als Vergleichsprüfung zwischen Neuerersatzteil und im Einsatz geschädigtem, regeneriertem Ersatzteil durchgeführt.

#### Beispiel 3

Einer Torsionsvergleichsprüfung zwischen Neuersatzteil und vorgeschädigtem und regeneriertem Ersatzteil wurden Zahnwellen aus Vergütungsstahl St 42 MnV7 unterzogen, die als Bremswellen in selbstfahrenden Erntemaschinen eingesetzt sind. Geprüft wurden aufgeschweißte Wellen, wobei ein Prüflos durch Kaltwalzen und das andere durch Fräsen profiliert und alle Wellen wie in der Neufertigung vergütet worden sind. Die Prüfwellen wurden arbeitsteilig aufgearbeitet durch:

–VEB KfL „Karl Marx“ Freiberg/Brand-Erbisdorf

–VEB ILI Dingelstädt

–VEB Getriebewerk Kirschau.

Sie stammen aus dem Einzugsbereich des VEB KfL „Karl Marx“ Freiberg/Brand-Erbisdorf, Sitz Großschirma. Ihr Vorschädigungszustand (Ermüdung) entspricht also den dort durchschnittlich herrschenden Bedingungen (Einsatzbedingungen, Verbrauchskennzahl der geprüften Welle, Anfallfaktor der zugeordneten Maschine zur Grundinstandsetzung).

Im Bild 3 sind die unter Versuchsbedingungen für die konkrete Ersatzteilposition Prüfwellen ermittelten Ermüdungs-Lebensdauer-Verteilungen [7,8] gegenübergestellt.

Die 99,9 %igen Lebensdauer-Quantile der logarithmischen Normalverteilung  $t_{0,999}$  betragen an den geprüften Ersatzteilpositionen:

–neue Zahnwellen 63 000 Schwingenspiele (Ssp)

–vorgeschädigte, aufgeschweißte, profilgewalzte und vergütete Zahnwellen 16 500 Ssp

–vorgeschädigte, aufgeschweißte, profilfräste und vergütete Zahnwellen 15 500 Ssp.

Diese Ergebnisse gelten ausschließlich für die geprüfte Ersatzteilposition und können deshalb keinesfalls verallgemeinert werden. Sie waren rechnerische Grundlage für die Kostenkurven im Bild 2.

Als Grund für den beträchtlichen Abfall des Quantils  $t_{0,999}$  der vorgeschädigten, regenerierten Zahnwellen bezogen auf neue Zahnwellen auf rd. 25 % wird vor allem Werkstoffermüdung infolge der bis zur ETI ertragenen Schädigung im Maschineneinsatz angenommen. Dazu werden im Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig planmäßig weitere Untersuchungen durchgeführt.

#### 4. Schlußfolgerungen

Durch die Verwendung von An- und Einarbeitungsteilen ist, wie im Bild 1 skizziert, eine zuverlässigkeitssichernde, material-, energie- und arbeitszeitsparende ETI gewährleistet.

Progressive Verbindungstechnologien, wie Preißverbindungen mit Hilfe von oberflächenbehandelten Fügebauteilen, Reibschweißen, aber auch Klebtechnologien, können gleichzeitig die Verbundbauweise, also z. B. Einsatz von Vergütungsstahl an Verschleißabschnitten von Wellen und Verwendung von billigerem Baustahl für die restlichen Segmente gewährleisten.

Sicherheitsteile sind prinzipiell instandsetzungswürdig und -fähig.

Die Instandsetzungstechnologie der Sicherheitsteile muß erprobt und bei positivem Zuverlässigkeitssichernde, material-, energie- und arbeitszeitsparende ETI gewährleistet.

Falls in der Neufertigung Wärmebehandlung durchgeführt wird (z. B. Vergüten), kann darauf bei der ETI auf keinen Fall verzichtet werden.

Prüfstanduntersuchungen sind relativ teuer. Deshalb muß vorher ein ökonomischer Nutzenachweis der ETI der betreffenden Ersatzteilposition unter Einbeziehung der Prüfkosten vorgenommen werden [6].

Die ETI an Sicherheitsteilen ist nicht beliebig oft wiederholbar. Die Wiederholbarkeit ist an der konkreten Position zu untersuchen. Nach erfolgter ETI ist das Ersatzteil so zu kennzeichnen, daß bei Überschreiten dieser Grenzzahl die Verschrottung erfolgt.

Durch Erweiterung des ETI-Sortiments auf Sicherheitsteile sind neben Energieeinsparungen besondere Einsparungen an hochwertigem Stahl (Vergütungsstahl, Einsatzstahl) in volkswirtschaftlich bedeutenden Größenordnungen möglich.

#### Literatur

- [1] Reichel, G.: Aktivitäten des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt/Sachsen bei der Vorbereitung der Instandhaltung seiner Erzeugnisse. Referat auf dem RGW-Symposium Landtechnische Instandhaltung vom 29. 6. bis 3. 7. 1981 in Leipzig-Markkleeberg (unveröffentlicht).
- [2] Anordnung über die Planung, Bilanzierung und Vertragsgestaltung von Ersatzteilen und Bau-

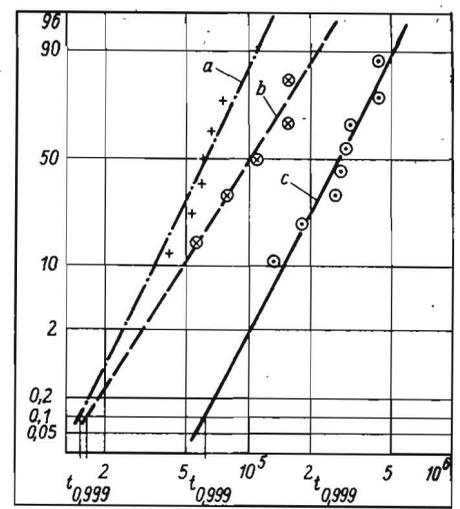


Bild 3. Ergebnisse von Haltbarkeits-Vergleichsuntersuchungen neuer und regenerierter Zahnwellen;  
a Zahnwelle vorgeschädigt und regeneriert (Profil gefräst)  
b Zahnwelle vorgeschädigt und regeneriert (Profil gewalzt)  
c Zahnwelle neu

gruppen für die Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft vom 26. März 1981.

- [3] Kombinatinstruktion Nr. 226; Durchsetzung des instandhaltungsgerechten Projektierens und Konstruierens. VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt in Sachsen, verbindl. ab 1. Oktober 1981.
- [4] Petersohn, H.-J.; Kießig, A.: Dokumentation „Technische Vorbereitung der Ersatzteilinstandsetzung“, Teil 1 und 2. Landtechnische Informationen, Leipzig 20 (1981) 5, S. 86, 6, S. 100.
- [5] Ihle, G.; Rößner, K.: Katalog Instandhaltungsgerechtes Konstruieren, Band 5. Berücksichtigung der Einzelteilinstandsetzung bei der Gestaltung von Instandsetzungsteilen. VEB Rationalisierung LTI Neuenhagen, 1980.
- [6] Reichenheim, H.; Petersohn, H.-J.: Untersuchungen zur technisch-ökonomisch begründeten Festlegung von instandsetzungswürdigen Ersatzteilen und Vorschlag für ihre Zuverlässigkeitssicherung. Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB ILT Leipzig, Bericht Nr. LTV/10/82 vom 25. November 1982 (unveröffentlicht).
- [7] Stecher, H.; Petersohn, H.-J.: Zwischenbericht Prüfung von Portalwellen E 307. Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB ILT Leipzig, Bericht Nr. LTB/18/82 vom 3. Mai 1982.
- [8] Petersohn, H.-J.; Stecher, H.: Abschlußbericht Prüfung von Portalwellen E 307 (auftragsgeschweißte, profilgewalzte, vergütete). Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB ILT Leipzig, Bericht Nr. LTB/24/82, vom 29. Juni 1982 (unveröffentlicht). A 3727

### Hinweis für unsere Leser im Ausland

Wir bitten alle Bezieher unserer Zeitschrift außerhalb der DDR, die Erneuerung der Abonnements für das Jahr 1984 rechtzeitig vorzunehmen.

Die Zeitungsvertriebsstellen Ihres Landes finden Sie auf Seite 572.

Redaktion agrartechnik