

Untersuchung des volkswirtschaftlichen Effekts der Verwendung von instand gesetzten Einzelteilen

Prof. Dr. sc. techn. G. Ihle, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik
Dr.-Ing. B. Opitz, KDT, VEB Kombinat für Landtechnische Instandhaltung Karl-Marx-Stadt

Vorbemerkung

Landmaschinen arbeiten mehr als 80 % ihrer Nutzungsdauer als instand gesetzte Maschinen. Die zunehmende Verwendung instand gesetzter Einzelteile (IET) statt Neuersatzteile (NET) beeinflusst dabei die Zuverlässigkeit instand gesetzter Technik und den zur Ersatzteilbereitstellung nötigen Aufwand. Die optimale Gestaltung dieses Einflusses setzt die Planbarkeit der Einzelteilinstandsetzung (ETI) und die Kenntnis der tatsächlichen Aufwandsveränderungen voraus. Die nachfolgend dargestellten Zusammenhänge sollen einen Beitrag dazu leisten. Sie sind das Ergebnis gemeinsamer Forschungen des VEB Kreisbetrieb für Landtechnik „Karl Marx“ Freiberg, des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt in Sachsen und der Technischen Universität Dresden.

Die massenhafte Verwendung instand gesetzter Einzelteile führt in Verbindung mit ihren besonderen Eigenschaften [1] zu deutlichen ökonomischen Effekten, die sowohl in Einsparungen aber auch in Mehraufwendungen bestehen können.

Besonders interessieren folgende Fragestellungen:

- Wie groß ist die Anzahl verfügbarer instand gesetzter Teile, und welcher Anteil an der Deckung des Ersatzteilbedarfs kann damit erreicht werden?
- Wie und in welchen Kategorien verändert sich der volkswirtschaftliche Aufwand zur Ersatzteilherstellung?
- Wie hoch dürfen die Aufwendungen bei der Einzelteilinstandsetzung sein, damit noch eine Einsparung gegenüber der Verwendung von Neuersatzteilen eintritt?

Die Antwort erfordert:

- Berechnung des Bedarfs an NET und IET, d. h. der Instandsetzungshäufigkeiten
- Bewertung der Instandsetzungshäufigkeiten mit den für die Herstellung bzw. Instandsetzung eines einzelnen Teils notwendigen Aufwendungen.

Einflußparameter

Bei der Erarbeitung entsprechender Berechnungsmodelle sind die in der Praxis wirkenden Einflußgrößen zu berücksichtigen. Zur Quantifizierung der Einflußgrößen auf die Instandsetzungshäufigkeiten sind in der Literatur keine bzw. nur ungenügend gesicherte Aussagen enthalten. Eigene Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

Das *Ausfallverhalten* funktionsgleicher Neu- und instand gesetzter Teile ist fast stets unterschiedlich. Eine geeignete Bewertungsmöglichkeit stellen die Qualitätsquotienten der Mindest- bzw. zentralen Grenznutzungsdauer

$$q_{i, 0,9} = \frac{t_{0,9 IET}}{t_{0,9 NET}} \text{ bzw.}$$

$$q_{i, 0,5} = \frac{t_{0,5 IET}}{t_{0,5 NET}}$$

sowie die Kampagneüberlebenswahrscheinlichkeit $R(t_k)$ dar. Die Bewertung durch diese Parameter weist auf ein durchschnittlich schlechteres Ausfallverhalten instand gesetzter Teile hin. Nur rd. 20 % der IET eines Untersuchungssortiments des Feldhäckslers E 280 zeigten ein stabil besseres Ausfallverhalten als die funktionsgleichen NET.

In Anbetracht des anerkannt progressiven technisch-technologischen Niveaus des betreffenden Instandsetzungsbetriebs kann diese Aussage für die im Rahmen der VEB KfL instand gesetzten Teile als tendenziell richtig betrachtet werden. Eine Übertragung auf andere Instandsetzungsbereiche ist unzulässig.

Der Anteil *instandsetzungswürdiger Elemente* λ an der Gesamtheit verschlissener Teile variiert zwischen 20 % und 95 %. Mittelwerte liegen bei 50 % für Ausfälle im Einsatz und 85 % bei vorbeugender Erneuerung. Er wird durch Werkstoffauswahl und funktionsbedingte Hauptschädigungsart weitgehend bereits konstruktiv festgelegt. Die *Rückführungsrate* v , d. h. der Anteil verschlissener Teile, der einem Instandsetzungsbetrieb zugeführt wird, ist vorwiegend durch subjektive Faktoren der Organisiertheit und Stabilität des Erfassungsprozesses bestimmt. In Abhängigkeit vom Niveau dieser Faktoren können in der DDR z. Z. Werte von 20 % bis 60 % bei Ausfällen im Einsatz und von 60 % bis 100 % bei vorbeugender Instandsetzung als gültig betrachtet werden.

Die *zulässige Wiederholbarkeit* Z der ETI wird sowohl verfahrensabhängig als auch durch konstruktive Gestaltung und Schadenserscheinung begrenzt. Technisch begrenzend wirkt bei Aufbereitungsverfahren vor allem die Gefügeveränderung bei Verfahren mit starkem Wärmeeintrag.

Als Näherungen können gelten:

- bis zweimal bei rotationssymmetrischen Auftrag-

schweißteilen aus gehärteten, vergüteten oder höherlegierten Stählen bei thermischer Nachbehandlung sowie bei Reparaturschweißteilen

- bis viermal bei Auftragschweißteilen aus normalem Baustahl
- unbegrenzt bis zur Ermüdung des Grundwerkstoffs bei Metallspritzen, galvanischen Verfahren und Plastauftragung auf beliebige Werkstoffe.

Die *Ausschußquote* p liegt in der ETI primär bei 1 bis 5 %, wobei die Mehrzahl der fehlerhaften Teile durch erneute Instandsetzung noch gebrauchsfähig gemacht werden kann.

Die *Betriebsgrenze* H_B ist bei Berechnungen zunächst in realistischen Stufen vorzugeben. Sie ist im Ergebnis so zu optimieren, daß Instandsetzungshäufigkeiten oder Materialgesamtkosten minimal bzw. die Materialwirksamkeit maximal werden.

Einfluß der Überlebenswahrscheinlichkeit auf Ersatzteilbedarf und Materialkosten

Für die Durchführung praktischer Berechnungen bei Berücksichtigung der o. g. Einflußgrößen wurden die Rechenprogramme INSTA 2 und INSTA 3 entwickelt [2, 3]. Diese Programme wurden für eine große Variationsbreite der Eingangsparameter auf der sowjetischen Datenverarbeitungsanlage BESM-6 abgearbeitet. In Tafel 1 sind einige Ergebnisse dargestellt. Folgende Tendenzen werden deutlich:

- Geringere Überlebenswahrscheinlichkeit einer Teilkategorie führt zu einem starken Ansteigen des Ersatzteilbedarfs.
- Die Deckung des Ersatzteilbedarfs durch instand gesetzte Teile ist bei den zugrunde gelegten Parametern zu fast zwei Dritteln möglich. Damit sind die Möglichkeiten durch einen hohen Anteil instandsetzungswürdiger Teile und eine hohe Rückführungsrate nahezu erschöpft. Ein noch höherer Anteil ist in der Praxis vor allem durch eine höhere zulässige Wiederholbarkeit der Einzelteilinstandsetzung erreichbar.
- Ein Absinken der Überlebenswahrscheinlichkeit wirkt sich sofort nachdrücklich auf eine Steigerung der Gesamtmaterialkosten aus. Bei um 45 % geringerer Überlebenswahrscheinlichkeit ($\gamma_N = 0,9 / \gamma_I = 0,5$) ist die Einzelteilinstandsetzung praktisch schon kaum noch ökonomisch. Bei um 22 % geringeren Werten ($\gamma_N = 0,9 / \gamma_I = 0,7$) darf der Preis der instand gesetzten Teile nur 50 bis 60 % des Neupreises betragen, damit noch ein Einsparungseffekt nachweisbar ist.

Beeinflussung der Aufwendungen für die Ersatzteilproduktion

Die Aufwendungen zur Instandsetzung eines abgenutzten Teils sind von denen zur Neuteilherstellung des funktionsgleichen Teils aus Schrott verschieden. Bei der ETI sind fol-

rüstungen in Tierproduktionsanlagen und deren Vermeidung. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 9, S. 392-393.

[4] Wunderlich, C.: Untersuchungen zur spezialisierten Instandsetzung von Einzelteilen, Baugruppen und Anlagenteilen für Anlagen der Tier- und Pflanzenproduktion. Ingenieurschule für Landtechnik Nordhausen, Abschlußarbeit 1982 (unveröffentlicht)

A 3851

Fortsetzung von Seite 550

Literatur

- [1] Katalog „Einzelteilinstandsetzung stationärer landtechnischer Ausrüstungen“. VEB LTA Dresden, 1983 (unveröffentlicht).
- [2] Heubner, F.: Erarbeitung eines technologischen Durchlaufplanes für eine Werkstatt zur spezialisierten Instandsetzung von Einzelteilen im LTA. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Abschlußarbeit 1982 (unveröffentlicht).
- [3] Schreck, W.: Korrosionsschäden an Standaus-

Tafel 1. Einfluß der Überlebenswahrscheinlichkeit auf die Instandsetzungshäufigkeit bei Anwendung neuer und instand gesetzter Einzelteile als Ersatzteile sowie Auswirkungen auf die Gesamtmaterialeinkosten

Parameter:									
zulässige Wiederholbarkeit der Einzelteilinstandsetzung:									Z = 2
Betriebsgrenze:									HB _N /HB _I = 0,4/0,4
betrachtete Maschinen:									1 000 Feldhäcksler E 280
betrachtete Kampagnen:									12
Variationskoeffizient der Grenznutzungsdauer:									V = 0,7 = const.
Anteil instandsetzungswürdiger Teile bei Ausfall/vorbeugender Erneuerung:									λ _K /λ _I = 0,75/1,0
Rückführungsrate instandsetzungswürdiger Teile bei Ausfall/vorbeugender Erneuerung:									υ _K /υ _I = 0,75/0,95
normierte Kampagneüberlebenswahrscheinlichkeit neuer und instand gesetzter Teile γ _N /γ _I :									variabel

γ _N /γ _I	Instandsetzungshäufigkeit		Deckungsanteil D _{ET} %	relative Gesamtmaterialeinkosten bei IAP _{IET} /IAP _{NET}					
	A _{ges.N} (nur Neuteile)	A _{ges.I-N} (instand gesetzte Neuteile)		0,25 %	0,40 %	0,55 %	0,70 %	0,85 %	100 %
0,9/0,5	6 484	9 184	60	76	91	103	117	129	142
0,9/0,7	6 484	8 416	63	58	81	93	105	118	130
0,9/0,9	6 481	6 481	66	52	61	71	80	90	100
0,7/0,9	10 953	7 967	63	38	45	52	59	66	73
0,5/0,9	14 667	8 786	61	32	37	43	49	54	60

gende wichtige Unterschiede festzustellen:

- reduzierter Zirkulationsprozeß
- unnötiger Urformprozeß
- wesentlich geringerer oder unnötiger Umformprozeß
- meist wesentlich geringere spanende Bearbeitung.

Eine objektive Wertung dieser Unterschiedlichkeit erfordert sowohl die Betrachtung der primären Kategorien des Produktionsprozesses

- lebendige Arbeit (L)
- Menge Werkstoff (M)
- Menge Energie (E)

als auch die bewertete Zusammenfassung aller Aufwendungen als Kosten (K). Eine Aussage über Einsparung oder Mehraufwand durch ETI kann nur nach Verbindung der Aufwandswerte für ein diskretes Einzelteil mit den Instandsetzungshäufigkeiten getroffen werden. Die Bilder 1 und 2 sowie Tafel 2 veranschaulichen die Zusammenhänge am Beispiel der Zwischenwelle des Feldhäckslers E 280.

Ökonomische Effekte der Verwendung instand gesetzter Einzelteile

Für das gegenwärtig in den VEB KfL erreichte Niveau der ETI ist für die Verände-

rung des volkswirtschaftlichen Aufwands zur Ersatzteilherstellung folgende Situation festzustellen [2]:

Die Strategie der ETI vermeidet die bei Neuteilherstellung aus Schrott nötigen energieintensiven Ur- und Umformprozesse und realisiert sich in einem verkürzten Zirkulationsprozeß. Dadurch ist eine Verminderung des Energiebedarfs auf 10 bis 20 % bei rotations-symmetrischen Auftrageilen und auf 15 bis 50 % bei figurellen Reparaturteilen aus Blechen und Walzprofilen (bezogen auf funktionsgleiche Neuteile) erreichbar. Diese drastische Reduzierung des Energiebedarfs stellt den volkswirtschaftlichen Haupteffekt der ETI dar.

Der Materialverbrauch ist bei der Strategie der ETI meist geringer und liegt bei Berücksichtigung der Materialmenge des verschlissenen Teils bei 50 bis 75 % der nötigen Materialmengen der Strategie der NET-Herstellung. Bei wesentlich geminderter Zuverlässigkeit der IET (> 25 %) sind keine Materialeinsparungen zu erzielen. Das trifft ebenfalls zu, wenn bei figurellen Reparaturteilen die Masse der Einschweißteile größer als 50 % der Masse des fertigen Teils ist. Die Einsparungen sind in dem bei metallurgischen Prozessen nötigen Mehreinsatz begründet, der beim Instandsetzungskreislauf nicht erforderlich ist.

Die Materialverluste sind bei NET-Fertigung wesentlich größer. Sie gehen zwar als Menge Werkstoff nicht verloren, aber die in ihnen vergegenständlichte Arbeit und Energie stellen echte Verluste dar. Die Materialverluste sind nur nach erneutem Aufwand an lebendiger Arbeit und Energie wieder zum Werkstoff reproduzierbar.

Der Gesamtverbrauch an lebendiger Arbeit erreicht bei der ETI in fast allen Fällen den Vergleichswert für die NET-Herstellung und

3	Prüfen, ob Welle verbogen ist	E	Meßuhr						Zwischenwelle kalt richten
2	Prüfen, ob Nut verquetscht oder ausgeschlagen ist	D	Passameter	Orig.-Maß 12 -0,018 -0,061	Paßfeder A 12x8x100 TGL 9500		12,020		Nut mit Plaste vergossen anschl. auf Orig.-Maß -0,009 überdrehen φ40 -0,025 Nut um 120° versetzt neu gefräst. Lagersitz aufarbeiten, aufplasten und anschl. überdrehen auf Orig.-Maß.
1	Verschleiß an Lagerstellen messen	G B A	Passameter	Orig.-Maß φ45 +0,011 -0,005	Rillenkugellager 6309-2RS TGL 2981		φ44,8	φ44,5	
Lfd. Nr.	Prüfumfang	Meßstelle	Art und Meßmittel	Fertigungsvorgabe	Paarungsteil	Betriebsgrenze	Aussonderungsgrenze	Verschrotungsgrenze	Grabtechnologie bzw. Instandsetzungshinweise, einzuhaltende Vorschriften
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Bild 1. Zwischenwelle 02 034364 00 des Feldhäckslers E 280

10	
15	
14	
13	Werkstoff 30 Mn 5V
12	ET-Nr. 02 034 364 00
11	Baugruppe Vorgelegewelle 5285-0600:000/100

Tafel 2. Gesamtaufwand für die Zwischenwelle des E 280 (ET-Nr. 02 034364 00) an Material, lebendiger Arbeit, Energie und Ersatzteilkosten bei ausschließlicher Verwendung von Neuteilen (\cong Schrottkreislauf, Spalte SK) und maximaler Nutzung der ETI (\cong Instandsetzungskreislauf, Spalte IK)

Parameter: $H_{BN}/H_M = 0,4/0,4$; $Z = 2$; $V = 0,7$
 $\lambda_x/\lambda_1 = 0,75/1,0$; $v_x/v_1 = 0,75/0,85$

		Zwischenwelle	
		NET	IET
		($\gamma_N = 0,91$)	($\gamma_I = 0,74$)
Instandsetzungshäufigkeit			
bei Neuteilen $A_{G,N}$		7 176	
bei NET + IET $A_{G,N+I}$			10 020
Deckungsanteil durch IET D_{IET}	%		69,0
		SK	IK
lebendige Arbeit			
je Teil	AKmin/St.	137	131
gesamt	AKh	16 385	22 187
rel. IK/SK	%		135
Energie			
je Teil	kWh/St.	80	83
gesamt	10^3 kWh	574	305
rel. IK/SK	%		53
Kosten			
je Teil	M/St.	218,-	79,-
gesamt	Mill. M	1,57	1,23
rel. IK/SK	%		78
Material			
je Teil	kg/St.	38,8	26,3
gesamt	10^3 kg	278,4	218,0
rel. IK/SK	%		78,3

überschreitet ihn z. T. wesentlich. Für die im Bereich der VEB KfL realisierte ETI ist aus der Wirkung des Zuverlässigkeitsniveaus der instand gesetzten Teile und des Produktivitätsniveaus der ETI zu schließen, daß im volkswirtschaftlichen Maßstab die hohe Deckung des Ersatzteilbedarfs durch IET keinen geringeren Einsatz an gesellschaftlichen Arbeitszeitfonds erfordert als die ausschließliche Verwendung von Neuersatzteilen.

Instand gesetzte Teile sind meist billiger als neue Ersatzteile. Die Preisrelationen liegen bei 25 bis 110 %, dabei ist die Überschreitung einer (willkürlichen) Grenze von 70 % durch die preisrechtlichen Bestimmungen auf Ausnahmen beschränkt. Die somit durch ETI prinzipiell mögliche Einsparung an Materialkosten für Ersatzteile über die gesamte Nutzungsdauer tritt jedoch nur ein, wenn die Zuverlässigkeit instand gesetzter Teile nicht wesentlich schlechter als die der entsprechenden NET ist.

Schlußfolgerungen

Zur vollständigen Ausnutzung der mit Hilfe der ETI möglichen Einsparungen bei der Ersatzteilbereitstellung sind bei Konstruktion, Nutzung und Instandhaltung folgende Schwerpunkte zu beachten:

- Die Entscheidung zur Aufnahme eines Einzelteils in das Sortiment der ETI ist im konstruktiven Entwicklungsprozeß zu treffen. Werkstoffeinsatz, Dimensionierung und konstruktive Gestaltung sind unter Beachtung dieser Entscheidung vorzunehmen.
- Die Erarbeitung der ETI-Technologie parallel zur konstruktiven Gestaltung sichert die rechtzeitige Aufnahme der ETI. Außer technologischen Angaben sollten dem Instandsetzer Betriebs-, Aussonderungs- und Verschrottungsgrenzen angegeben sowie die zulässige Wiederholbarkeit der ETI begrenzt werden.
- Die technische Ausrüstung der Instandsetzungsbetriebe ist mit der Zielstellung zu vervollständigen, alle technologisch vor-

gesehenen Arbeitsgänge auch durchführen zu können.

- IET sind nach gleichen Prinzipien wie NET in die Zuverlässigkeitsanforderungen einzubeziehen. Die Anwendung der Zuverlässigkeitsanforderungen für neue Ersatzteile auch bei IET ist Voraussetzung für hohe Qualität aller Ersatzteile.
- Zur Sicherung einer möglichst vollständigen Rückführung instandsetzungswürdiger Teile vom Nutzer zum Instandsetzungsbetrieb erscheint die Vervollkommnung des Systems der Erfassung, Zirkulation und Instandsetzung der instandsetzungswürdigen Teile unerlässlich.
- Durch entsprechende konstruktive Gestaltung der Teile des ETI-Sortiments sowie durch sachgerechte Bedienung, Wartung und Pflege ist ein hoher Anteil instandsetzungswürdiger Teile anzustreben.
- Zur Vermeidung der Instandsetzung von Teilen mit verdeckten Mängeln sind objektivere Prüfmethode zu erarbeiten, technisch zu realisieren und in die Instandsetzungspraxis zu überführen.
- Die kombinierte Vorgabe von quantitativen und qualitativen Kennzahlen für die ETI sichert die Einheit von Menge und Qualität.

Die Umsetzung dieser Erkenntnisse in die Praxis führt zu einer wesentlichen Erhöhung der Qualität instand gesetzter Einzelteile. Dazu wurde im Fachausschuß ETI der Wissenschaftlichen Sektion „Landtechnische Instandhaltung“ der KDT in Zusammenarbeit von Landmaschinenindustrie und Instandhaltungswesen ein komplexes System der Qualitätssicherung bei der ETI im Bereich der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft im Entwurf fertiggestellt. Damit wird ein Beitrag geleistet, die geplante Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer von Landmaschinen mit hoher Verfügbarkeit sicherzustellen.

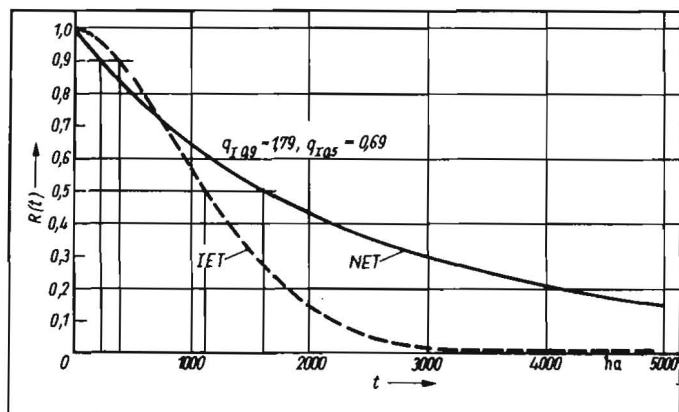


Bild 2
Vergleich der Überlebenswahrscheinlichkeit für neue (NET) und instand gesetzte (IET) Zwischenwellen
02 034364 00

Literatur

- [1] Opitz, B.: Zuverlässigkeit instand gesetzter Einzelteile und deren Einfluß auf die Instandsetzungshäufigkeit am Beispiel des Feldhäckslers E 280. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 5, S. 227-229.
- [2] Opitz, B.: Untersuchung des volkswirtschaftlichen Effekts der Verwendung instand gesetzter Einzelteile. TU Dresden, Dissertation A 1982.
- [3] Rößner, K.: Beitrag zur Objektivierung des zuverlässigkeitsorientierten und instandhaltungsgerechten Konstruierens landtechnischer Arbeitsmittel. TU Dresden, Dissertation A 1979.

A 3848