

Auswirkung diagnosebedingter Einstell- und Instandsetzungsarbeiten an Traktorenmotoren auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch

Dipl.-Ing. H. Stobinsky, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Problematik

Mit zunehmendem Einsatz der technischen Diagnostik in Betrieben der Landwirtschaft der DDR stehen Möglichkeiten zur Ermittlung und Bewertung des technischen Zustands von Verbrennungsmotoren landtechnischer Arbeitsmittel zur Verfügung, die Schlußfolgerungen über durchzuführende Einstell- und Instandsetzungsarbeiten zur Wiederherstellung optimaler Funktionsparameter, wie z. B. Motorleistung, spezifischer Kraftstoffverbrauch oder Raumdichte, erlauben.

Für die Ermittlung der Auswirkungen der mit der technischen Diagnostik verbundenen Einstell- und Instandsetzungsmaßnahmen auf die Effektivität des Maschineneinsatzes stellt der spezifische Kraftstoffverbrauch als eine Grundvoraussetzung für ein wirtschaftliches Betreiben von Traktorenmotoren eine entscheidende Größe dar.

Der spezifische Kraftstoffverbrauch gibt die zur Erzeugung einer Leistung in einer Bezugszeit verbrauchte Kraftstoffmenge in g/kWh an. Er ist für einen bestimmten Motortyp vom Hersteller im Motorkennlinienfeld als Normverbrauch vorgegeben.

Die Vielzahl der auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch wirkenden Störgrößen (Tafel 1) spiegelt die Problematik der Einhaltung des Normverbrauchs wider. Der Normverbrauch ist um so bedeutsamer, wenn davon ausgegangen wird, daß die den absoluten Kraftstoffverbrauch beeinflussenden Störgrößen, wie z. B. schlechte Einsatzbedingungen, Fahrweise oder Auslastung der Traktoren, durch Abweichungen des spezifischen Kraftstoffverbrauchs vom Normverbrauch in ihrer negativen Wirkung noch wesentlich verstärkt werden.

Alle in Tafel 1 dargestellten Störgrößen sind Abweichungen bestimmter Funktionsparameter vom vorgeschriebenen Einstellbereich, die entsprechend ihrem Auftreten qualitativ und quantitativ auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch einwirken. Der spezifische Kraftstoffverbrauch kann nach bisherigen Untersuchungen besonders durch folgende Abweichungen der Funktionsparameter beeinflusst werden:

- Einspritzqualität (ungleichmäßiges Zerstäuben und unvollständiges Schließen der Einspritzdüse)
- Voreinspritzwinkel
- Fördermenge der Pumpeneinheiten
- Ansaugunterdruck
- Durchblasestrom
- Kompressionsdruck
- Betriebstemperatur.

Zur Ermittlung der Abweichungen bestimmter Funktionsparameter, die den spezifischen Kraftstoffverbrauch beeinflussen, stehen verschiedene gerätetechnische Möglichkeiten mit dem Diagnosesystem DS 1000 zur Verfügung. Sie erlauben zwar keine direkte Erfassung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs, lassen aber Schätzungen über die infolge der Diagnose durch Einstell- und Instandsetzungsarbeiten erreichte Verringerung der Abweichungen vom Normverbrauch zu.

Der Nachweis der Auswirkungen der infolge einer Diagnose durchgeführten Einstell- und Instandsetzungsarbeiten auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch ist eine wichtige Aufgabe, um Schlußfolgerungen aus dem Einsatz bestimmter Diagnoseverfahren hinsichtlich der Wirksamkeit von Einstell- und Instandsetzungsarbeiten zur Einhaltung des Normverbrauchs ziehen zu können.

2. Möglichkeiten zur Ermittlung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs unter Praxisbedingungen

Die Vielzahl der auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch wirkenden Störgrößen (Tafel 1) macht die Problematik dieser Untersuchungen deutlich, bei denen mit einer hohen Meßgenauigkeit der Einfluß der diagnosebedingten Einstell- und Instandsetzungsarbeiten auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch sichtbar werden soll.

Es können dafür mehrere Verfahren genutzt werden (Bild 1).

Nachfolgend soll die praktische Erprobung einiger Verfahren analysiert werden, um Schlußfolgerungen über ihre Aussagekraft ziehen zu können.

Direkte äußere dynamische Belastung (Teststrecke)

Die Untersuchungen des spezifischen Kraftstoffverbrauchs bei dynamischer Belastung der Traktoren ZT 300 mit Hilfe des Durchflußmengenmeßgeräts EÜF 80 sind auf einer festgelegten Teststrecke von 10 200 m vorgenommen worden (Tafel 2).

Wie aus den Meßergebnissen (Tafel 2) ersichtlich, kommt es nach der Diagnose und den damit verbundenen Einstell- und Instandsetzungsarbeiten zu einer Kraftstoffeinsparung, die entsprechend der teststreckenabhängigen Belastung des Traktors unterschiedlich ist. Auf der Hinfahrt zum Wendepunkt der Teststrecke mußte der Traktor größere Steigungen überwinden und wurde damit stärker belastet als auf der Rückfahrt (Auswirkungen auf den absoluten Kraftstoffverbrauch). Schlußfolgernd aus diesen Testversuchen kann festgestellt werden, daß sich die quantitative Wirkung der Störgrößen auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch mit zunehmender Belastung und Drehzahl verstärkt.

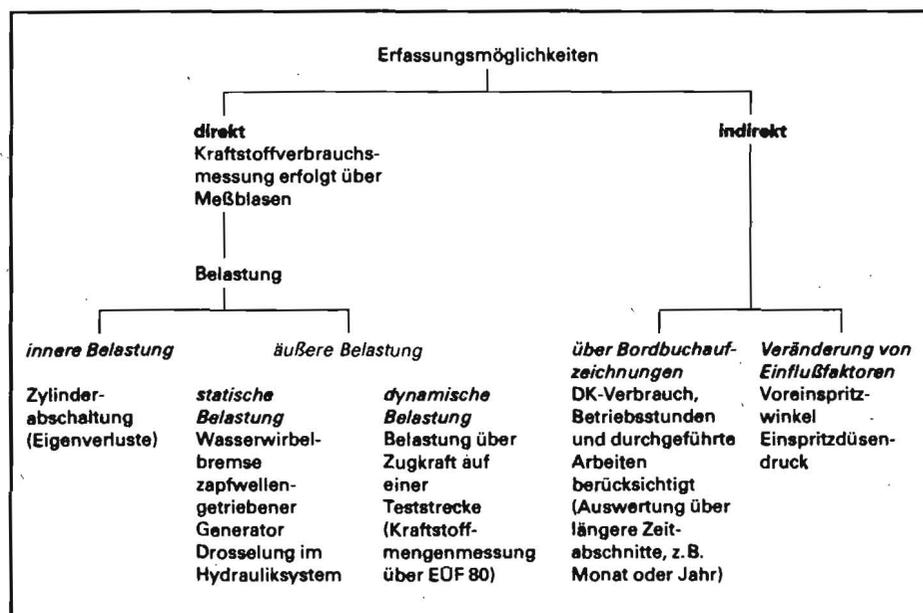
Für die allgemeine praktische Anwendung ist dieses Verfahren aufgrund des großen Zeitaufwands (rd. 3 bis 4 h) und der auftretenden Meßfehler (unterschiedliche Wahl der Getriebestufen und Drehzahlen durch den Mechanisator, unterschiedliche Fahrbahnverhältnisse, die ein Vergleichen verschiedener Traktoren nicht zulassen) nicht geeignet.

Direkte äußere statische Belastung

Die direkte Ermittlung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs der Traktorenmotoren erfolgte durch einen zapfwellengetriebenen Generator mit Wasserwiderstand in den statischen Belastungsstufen 34 kW (1 200 min⁻¹) und 47 kW (1500 min⁻¹) sowie durch volumetrische Kraftstoffmengenmessung.

Erste Testversuche an jeweils 10 Traktoren ZT 300/303 in Betrieben, die erstmalig das Diagnosesystem zum Einsatz brachten, bzw. in Betrieben, die über einen längeren Zeitraum mit diesen Geräten arbeiteten, brachten die in Tafel 3 dargestellten Ergebnisse. Die ermittelten Werte lassen eindeutig die Schlußfolgerung zu, daß diagnosebedingte

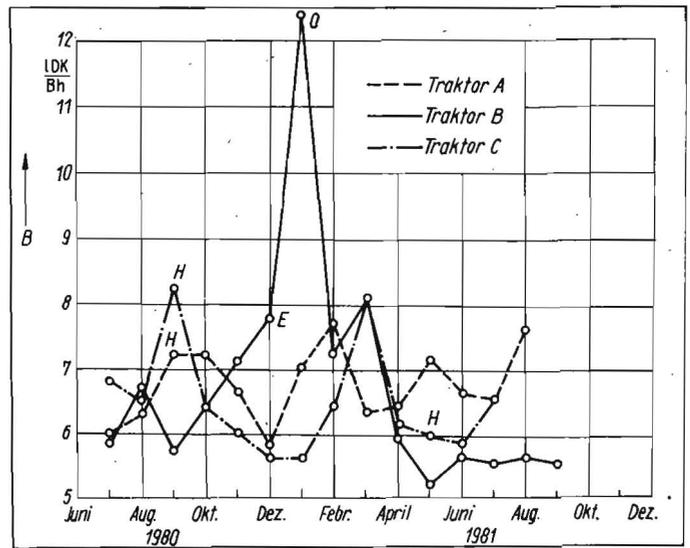
Bild 1. Möglichkeiten zur Erfassung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs



Tafel 1. Mögliche Störgrößen, die Abweichungen des effektiven spezifischen Kraftstoffverbrauchs vom Normverbrauch verursachen

Störgrößen umweltbedingt	kraftstoffbedingt	einstellungs- und instandsetzungsbedingt
Temperatur	Heizwert	Fördermenge
Luftdruck	Zündwilligkeit	Voreinspritzwinkel
Luftfeuchtigkeit	Viskosität	Ventilspiel
	Verdampfungszahl	Einspritzdüsendruck und Einspritzqualität
		Ansaugunterdruck
		Kompressionsdruck
		Durchblasemenge
		untere und obere Leerlaufdrehzahl
		Vollastdrehzahl
		Betriebstemperatur

Bild 2. Durchschnittlicher monatlicher Kraftstoffverbrauch B verschiedener Traktoren ZT 300; H Diagnosemaßnahmen, E Einspritzpumpenwechsel, O operative Überprüfung ▶



Einstell- und Instandsetzungsarbeiten durch vollständige oder teilweise Beseitigung bestimmter Störgrößen (Tafel 1) zu einer Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs führen. Anhand der Versuchsergebnisse (Tafel 3) kann eindeutig festgestellt werden, daß mit dem erstmaligen Einsatz der Diagnose und den darauffolgenden Einstell- und Instandsetzungsarbeiten ein qualitativ und quantitativ größerer Anteil an Störgrößen beseitigt wurde, was besonders in der Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs im oberen Belastungsbereich deutlich wird. Vergleichende Untersuchungen zwischen der Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs bei einmaliger bzw. mehrmaliger Diagnose und den nachfolgenden Einstell- und Instandsetzungsarbeiten ergaben, daß bestimmte Störgrößen nach erstmaliger Einstellung oder Instandsetzung über einen längeren Zeitraum nicht wieder auftreten bzw. durch regelmäßige Diagnose (einschließlich Einstellung und Instandsetzung) schon früh erkannt und beseitigt werden können. Es muß aber auch festgestellt

werden, daß beim erstmaligen Einsatz der Diagnose bewußt vom Mechanisator (durch Verstellung der Einspritzpumpe bzw. unterlassene Pflege- und Wartungsarbeiten) hervorgerufene Störgrößen einen wesentlichen Einfluß auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch hatten. Das Auftreten dieser Störgrößen kann durch regelmäßige Überprüfungen verhindert werden.

Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs aus Bordbuchaufzeichnungen

Eine mit wesentlich geringerem Aufwand verbundene Methode ist die Verwendung betrieblicher Aufzeichnungen, die z. B. aus Bordbüchern ermittelt werden können. Grundanliegen ist es hierbei, zu überprüfen, ob aus Bordbuchaufzeichnungen Datenmaterial zur statistisch gesicherten Auswertung ohne größeren Aufwand herangezogen werden kann. Der wesentliche Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß nicht die Leistung, sondern die Drehzahlzählung die Grundlage der Betriebsstunde bildet. Um bei der praktischen Realisierung dieses Verfah-

rens auszuschließen, daß große Leistungsunterschiede zwischen den Maschinen auftreten, wurde auf Traktoren ZT 300 zurückgegriffen, die im Transportbereich eines landwirtschaftlichen Betriebs eingesetzt waren.

Die statistische Auswertung (doppelter T-Test [1]) ergab keine signifikanten Unterschiede des jährlichen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs (Tafel 4) zwischen den Jahren 1981 und 1982 (Einsatz der Diagnose) und den Jahren 1977 bis 1980 (keine Diagnose), so daß die aufgetretenen Abweichungen der Mittelwerte als zufällig angesehen werden müssen. Eine weitere Betrachtung solcher Untersuchungen erscheint nur dann sinnvoll, wenn neben der Erfassung des verbrauchten Dieselkraftstoffs eine genaue Ermittlung der Betriebsstunden im Zusammenhang mit den durchgeführten Arbeiten unter Berücksichtigung solcher Einflußgrößen, wie Transportmasse oder Bodenverhältnisse (Feld bzw. Straßenfahrten), realisiert werden kann.

Die Analyse des durchschnittlichen monatli-

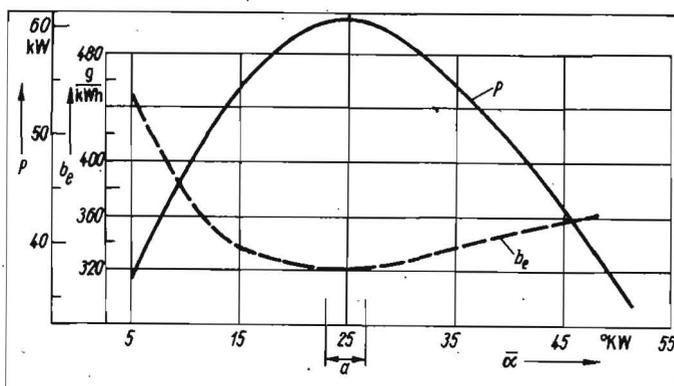
Tafel 2. Kraftstoffverbrauch des Traktors ZT 300 vor und nach der Diagnose bei vorgegebener Meßstrecke und konstanter Belastung

Meßstrecke	DK-Verbrauch		Einsparung		
	m	vor Diagnose cm ³	nach Diagnose cm ³	cm ³ /km	%
Hinfahrt	5 100	1 930	1 880	9,8	2,6
Rückfahrt	5 100	1 730	1 710	3,9	1,2

Tafel 3. Auswirkungen der diagnosebedingten Einstell- und Instandsetzungsarbeiten auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch des Traktors ZT 300

Belastung	Drehzahl	Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs in %	
		erstmaliger Einsatz der Diagnosetechnik	mehrmaliger Einsatz der Diagnosetechnik
kW	min ⁻¹		
34	1 200	1,3	1,0
47	1 500	5,1	2,2

Bild 3. Spezifischer Kraftstoffverbrauch b_e und Leistung P des Motors 4 VD 14,5/12 in Abhängigkeit vom Voreinspritzwinkel α ; a Einstellbereich



Tafel 4. Durchschnittlicher jährlicher Kraftstoffverbrauch je Betriebsstunde von Traktoren ZT 300 bei Transportarbeiten

	Jahr					
	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Anzahl der Traktoren	15	17	17	22	15	17
durchschnittlicher jährlicher Kraftstoffverbrauch je Betriebsstunde	8,0	8,2	7,9	8,9	7,8	7,7
Standardabweichung	1,52	1,43	1,23	2,19	1,42	1,23

chen Kraftstoffverbrauchs verschiedener Traktoren ZT 300 läßt größere Abweichungen des Kraftstoffverbrauchs vom tendenziellen Verlauf eindeutig als Mehrverbrauch erkennen. Mit Hilfe dieser ständigen Kontrolle ist es möglich, auftretende Störungen bzw. Auswirkungen von Einstell- und Instandsetzungsmaßnahmen auf den Kraftstoffverbrauch unter Beachtung der durchgeführten Arbeiten festzustellen, um, wie im Bild 2 an der Maschine B dargestellt, Einstell- und Instandsetzungsmaßnahmen einzuleiten. Aus den Angaben im Bild 2 ist eine große Streuung der Einzelwerte bei max. 3 l Dieselmotorkraftstoff je Betriebsstunde ersichtlich, die auf unterschiedliche Leistungsanforderungen auch bei Transportarbeiten schließen lassen. Das erfordert in der Auswertung, wenn man von einem relativ stabilen technischen Zustand ausgeht, die Einbeziehung solcher Einflußfaktoren, wie Transportmasse bzw. Fahrbahnverhältnisse, die wesentlich den Kraftstoffverbrauch beeinflussen und damit die Aussagekraft dieser Auswertung erhöhen können.

Veränderung von Einflußfaktoren

Eine andere Möglichkeit zur Ermittlung der Auswirkung der Diagnose einschließlich der Einstell- und Instandsetzungsarbeiten auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch stellt die Verwendung der im Rahmen der Diagnose ermittelten Funktionsparameter dar. Voraussetzung dafür ist, daß die optimalen Einstellbereiche und die Auswirkungen bestimmter Veränderungen der Funktionsparameter auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch bekannt sind.

Aus Erfahrungen bisheriger Untersuchungen

lassen sich die Funktionsparameter Rauchdichte und Voreinspritzwinkel für die Ermittlung der Veränderung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs verwenden.

Ergebnisse der Rauchdichteuntersuchungen vor und nach der Diagnose lassen erkennen, daß mit Verringerung der Rauchdichte eine entsprechende Senkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs möglich ist [2]. Das ist aber nur über die optimale Einstellung aller Funktionsparameter erreichbar. Eine Reduzierung der Rauchdichte durch die Verringerung der Einspritzmenge ist problematisch, da sich die maximale Leistung der Traktoren verringert und dadurch bei Arbeiten mit hohem Kraftaufwand mit niedriger Getriebe- und hoher Drehzahl gefahren wird, was einen erhöhten Kraftstoffverbrauch verursacht. Die Veränderung der Einspritzmenge sollte nur dann vorgenommen werden, wenn Abweichungen von den zulässigen Einstellbereichen auftreten. Eine andere Möglichkeit stellt die Überprüfung des Voreinspritzwinkels dar, deren ermittelte Abweichung vom Einstellbereich (Bild 3) einen erhöhten spezifischen Kraftstoffverbrauch verursacht.

Die Auswirkung dieser und anderer Störgrößen bedarf noch genauer Untersuchungen, um den entsprechenden Anteil der Funktionsparameterabweichungen bei der Beeinflussung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs festzustellen.

3. Zusammenfassung

Alle Einstell- und Instandsetzungsarbeiten wurden auf der Grundlage von Diagnoseergebnissen einzelner Geräte des Diagnosesystems DS 1000 vorgenommen. Aus den bis-

herigen Untersuchungen zur Ermittlung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs unter Praxisbedingungen muß eingeschätzt werden, daß mit zunehmender Belastung der Maschine der Einfluß der Störgrößen auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch größer wird. Die erreichte Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs durch Geräte des DS 1000 in Verbindung mit Einstell- und Instandsetzungsarbeiten lassen auf die große Wirksamkeit dieser Arbeiten schließen, auch wenn keine direkte Überprüfung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs vorgenommen werden kann.

Bei exakter Erfassung von Einstell- und Instandsetzungsmaßnahmen in Verbindung mit Bordbuchauswertungen lassen sich näherungsweise Senkungen des spezifischen Kraftstoffverbrauchs nachweisen.

Der direkten Ermittlung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs, bei der die Auswirkungen von Einstell- und Instandsetzungsarbeiten sofort sichtbar werden, steht ein relativ hoher Aufwand an Gerätetechnik und Arbeitszeit gegenüber, der für den Einsatz in Praxisbetrieben ungünstig ist.

Literatur

- [1] Storm, K.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, Mathematische Statistik, Statistische Qualitätskontrolle. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1976.
- [2] Gebhardt, N.: Beitrag zur Minimierung des organisatorischen Aufwands der technischen Diagnostik mobiler landtechnischer Arbeitsmittel. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation A 1981.

A 3919

Möglichkeiten und Probleme der Getriebediagnose

**Prof. Dr. sc. techn. J. Müller, KDT/Dozent Dr. sc. techn. D. Troppens, KDT
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik**

1. Einleitung

An moderner Landtechnik sind sämtliche Getriebearten, wie z. B. Rädergetriebe, Rollenkettengetriebe und Riemengetriebe sowie Kurvengetriebe, Koppelgetriebe, Schrittgetriebe, im Einsatz zu finden. Entsprechend ihrer funktionellen Bedeutung sowie nicht ausreichend vorhandener Verfahren zu ihrer Nutzungsdauergerechten Konstruktion ergibt sich ggf. die Notwendigkeit zu ihrer Diagnose.

In einem früheren Beitrag [1] zu Fragen der Getriebediagnose wurden die aktuell anstehenden Möglichkeiten am Beispiel des Schubkurbelgetriebes im Verbrennungsmotor dargelegt und in [2] die Diagnose von Antriebsbaugruppen mit Hilfe der Spieldiagnose behandelt. Der erste Lösungsschritt zum Entwickeln von Diagnoseverfahren für getriebetechnische Baugruppen besteht im Untersuchen der Diagnosewürdigkeit des Objekts und im Bestimmen geeigneter Diagnoseparameter [3].

Am Beispiel einstufiger Rädergetriebe soll dargelegt werden, wie durch systematische Schädigungsanalyse und Ermitteln des Wirkungsmechanismus der Schädigung [4] ge-

eignete Diagnoseparameter präzisiert werden können. Daraus ableitend sollen Möglichkeiten der Getriebediagnose erörtert werden.

2. Notwendigkeit der Diagnose

Die im Abschn. 1 vertretene These, daß die Diagnose von Getrieben in landtechnischen Maschinen und Anlagen notwendig ist, gilt nicht grundsätzlich, da es Unterschiede bei der Schadenshäufigkeit gibt und in der landtechnischen Instandhaltung einige getriebetechnische Baugruppen mit wechselndem Erfolg subjektiv beurteilt werden, um Instandhaltungsmaßnahmen festzulegen. Diese Faktoren fordern eine gründliche Schädigungsanalyse als Voraussetzung für das Einschätzen der Diagnosewürdigkeit und als Ausgangspunkt für das Ableiten von geeigneten Diagnoseverfahren. Erfahrungen bei derartigen Untersuchungen haben aber auch gezeigt, daß subjektive Beurteilungen des Schädigungszustands einer Baugruppe oftmals nicht ausreichend sind, da bei nicht rechtzeitiger Instandsetzung ungerechtfertigte Nachfolgeschäden auftreten oder die

Aufarbeitung von Elementen nicht mehr möglich bzw. lohnend ist [5].

Bei der Beantwortung der Frage der Notwendigkeit der Diagnose ist zu beachten, daß Landmaschinen heute weit länger genutzt werden, als es bei ihrer Konstruktion geplant war und Getriebe mit ihren Bauteilen ebenfalls dieser längeren Nutzungsdauer ausgesetzt sind, so daß gegenüber der geplanten Schadenshäufigkeit Verschiebungen auftreten. In den meisten Fällen ist es nicht möglich, die reale Nutzungsdauer von Getrieben und ihren Bauteilen festzustellen. Dadurch ist zur Sicherung der Verfügbarkeit der Maschinen bei der Kampagnefestinstandsetzung eine Zustandseinschätzung die notwendige Voraussetzung. Bei einigen Maschinen und Anlagen wird die Instandsetzung nach Ausfall vorgenommen. Geringe Häufigkeiten der Ausfälle, geringer Aufwand für den Austausch von Getriebebaugruppen und das Fehlen von Diagnoseverfahren rechtfertigen diese Vorgehensweise. Es sollte jedoch genau bilanziert werden, welche Instandhaltungsmethode am kostengünstigsten ist und sowohl Material und Energie als auch Arbeitszeit sparen hilft [6]. Unter Berücksichti-