

# Theoretische Betrachtungen und praktische Erfahrungen zur Anwendung rationeller Verfahren der Komplexdiagnose von Dieselmotoren<sup>1)</sup>

Dipl.-Ing. N. Gebhardt, KDT, Betriebsschule des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft Großhain  
Dipl.-Ing. B. Nessau, KDT, Ingenieurbüro für vorbeugende Instandhaltung Dresden

## 1. Bedeutung und Notwendigkeit der Diagnose

Voraussetzung für einen ökonomischen Einsatz und eine ausreichende Verfügbarkeit der landtechnischen Arbeitsmittel (AM) ist, daß bestimmte Instandsetzungsmaßnahmen vorbeugend durchgeführt werden. Dazu werden durch die technische Diagnostik (TD) die Aussagen bezüglich des Zustands der einzelnen Baugruppen geliefert. Ergebnisse aus der Literatur und Untersuchungen an der Betriebsschule beim MLFN in Großhain erbrachten den Nachweis, daß bei Anwenden der Instandhaltungsmethode nach Überprüfung ökonomische Auswirkungen abrechenbar sind. Im einzelnen wurde dies in Großhain anhand folgender Ergebnisse nachgewiesen [1]:

- Verlängern der Grenznutzungsdauer (GND) der Motoren
- Verringern des Kraftstoffverbrauchs
- Abstellen von Mängeln während der Diagnose
- positive Entwicklung der Instandhaltungskosten.

In Tafel 1 sind die extrapolierten GND für Motoren des ZT 300/303 und MTS 50/52 enthalten.

Die Werte der Tafel liegen über den von Borrmann und Leopold [2] ermittelten mittleren GND. Werden die Ergebnisse der Tafel 1 mit den Aussagen von Neumann [3] verglichen, der für die Jahre 1973/1974 die mittlere GND einer KAP des Kreises Großhain ermittelte, so ist ebenfalls eine Steigerung von 13% für den Motor des ZT 300/303 und von 15% für den Motor des MTS 50/52 zu verzeichnen.

Dieser Vergleich ist insofern aufschlußreich, da die hier betrachteten landtechnischen AM und die von Neumann untersuchten landtechnischen AM bezüglich der Einsatzbedingungen und der Bodenverhältnisse eine gute Übereinstimmung aufweisen, und 1973 mit der stationären Diagnose im Kreis Großhain begonnen wurde.

So kann geschlußfolgert werden, daß sowohl durch ein kontinuierliches Durchführen der Pflege wie auch der Diagnose ein Beeinflussen der GND der Motoren möglich ist. Die höhere GND nur der Diagnose zuzuschreiben ist allerdings nicht gerechtfertigt, da das Pflegeniveau die GND der Motoren wesentlich beeinflusst. Es wird aber auch deutlich, daß durch die Diagnose und die notwendige Instandsetzung gegenüber [2, 3] ein weiteres Erhöhen der GND möglich ist.

Ein Beitrag zum Einsparen von Kraftstoff wird durch die TD dadurch geleistet, daß den Motor optimal eingestellt wird. Der Anteil zum Einsparen von Kraftstoff durch die TD wird erfaßt, indem vor und nach der Diagnose in Großhain eine Rauchdichtemessung mit dem RDM 4/1 ausgeführt wird. Die Ergebnisse der bisherigen Messungen ohne Anwenden des

Einspritzanlagenprüfgerätes DS 202 enthält Tafel 2.

Das Senken der Rauchdichte um den angegebenen Anteil ist mit einer Kraftstoffeinsparung identisch, die nicht unmittelbar allgemeingültig angegeben werden kann, da der Kraftstoffverbrauch neben der eingespritzten Kraftstoffmenge (Rauchdichte) von einer Reihe weiterer Faktoren abhängig ist, die nicht von der Diagnose beeinflusst werden können. Für einen ZT 300 der Betriebsschule beim MLFN wurde der Zusammenhang zwischen Kraftstoffverbrauch und Rauchdichte untersucht, um den sich ergebenden Einfluß auf den Kraftstoffverbrauch zu verdeutlichen.

Die für den Traktor ZT 300 ermittelte durchschnittliche Senkung der Rauchdichte von 3% ergibt eine Einsparung von 0,15 Liter/Betriebsstunde bzw. 1,2% Dieseldieselkraftstoff. Dieser Wert stimmt in Näherung mit Analysen bezüglich des Kraftstoffverbrauchs je Betriebsstunde der LPG (P) Priestewitz überein. Die Untersuchungen ergaben hier für den Traktortyp ZT 300 im Vergleich von 1977 zu 1978 eine Einsparung des Kraftstoffverbrauchs von 2%. Von 1978 zu 1979 beträgt die Einsparung 4,7%. Die in der LPG (P) Priestewitz erfaßten Werte berücksichtigen neben den technischen Voraussetzungen auch die Fahrweise und die Einsatzbedingungen. Diese ermittelten Werte sind durch Realisierung ökonomischer Voraussetzungen größer als der Einfluß, der sich allein aus technischen Bedingungen ergibt.

Ein weiterer Aspekt, der die Notwendigkeit einer Überprüfung zeigt, kommt im Bild 1 zum Ausdruck. Denn bei etwa 1,5 Mängeln je landtechnisches AM bzw. 70% bemängelter landtechnischer AM wird deutlich, daß die Überprüfungen und vor allem die erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen unbedingt durchgeführt werden müssen. Bild 2 kann entnommen werden, daß ein Teil der Mängel durch Nachstellen schon bei der TD abgestellt werden kann. Kostenuntersuchungen [1] ergaben, daß z. B. für den ZT 300/303 die Instandhaltungskosten von 1973 zu 1979 um 70 M/1000 l DK verringert werden konnten.

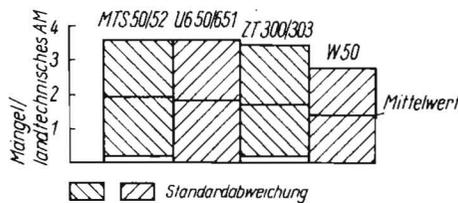


Bild 1. Mittlere Mängelanzahl je landtechnisches Arbeitsmittel (AM) (Werte von 1975 bis 1979 aus Großhain)

1) Von beiden Autoren wurden zur 3. Fachtagung Technische Diagnostik Vorträge gehalten, die hier zusammengefaßt sind.

Tafel 1. Extrapolierte gerundete GND-Werte für die Motoren der ZT 300/303 und MTS 50/52 der vom Pflege- und Diagnosekabinett Großhain betreuten Traktoren (Werte von 1979)

Landtechnisches AM	ZT 300/303		MTS 50/52	
	neuer Motor	instand gesetzter Motor	neuer Motor	instand gesetzter Motor
1	2	3	4	5
Anzahl der untersuchten Motoren	27	34	24	24
Anzahl der ausgetauschten Motoren	19	24	17	12
extrapolierte mittlere GND in l DK	43 000	30 000	30 000	31 000
Standardabweichung in l DK	9 000	7 000	7 000	5 000
Variations-Koeffizient in %	20	23	20	40
Vertrauensbereich für extrapolierte mittlere GND in l DK	37 000	25 000	35 000	26 000
extrapolierte mittlere GND in l DK	49 000	34 000	44 000	36 000

Tafel 2. Mittlere Rauchdichte der vom Pflege- und Diagnosekabinett betreuten landtechnischen AM (Werte von 1979 und 1980, vor dem Einsatz des Einspritzanlagenprüfgerätes DS 202)

Landtechnisches AM	ZT 300/303	MTS 50/52	W 50
1	2	3	4
Anzahl der untersuchten AM	122	129	61
mittlere Rauchdichte vor der TD in %	54	58	57
Anzahl der AM, an denen die Rauchdichte verringert wurde	30	42	11
Verringerung der Rauchdichte je neu eingestelltes AM in %	9	9	7
Verringerung der Rauchdichte je landtechnisches AM in %	3	4	2

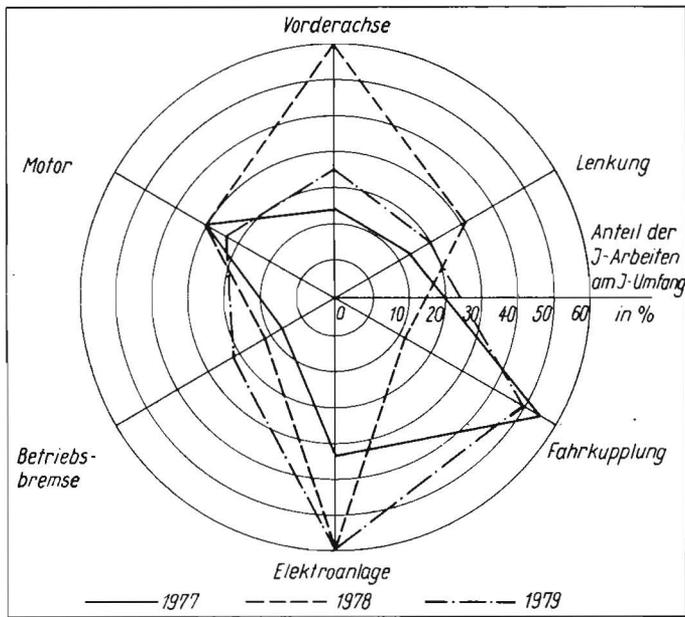


Bild 2. Verringern der Hauptmängel durch Instandsetzungsarbeiten während der TD für den ZT 300/303 von 1977 bis 1979

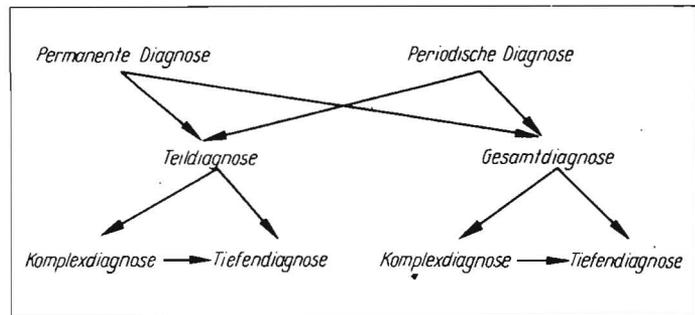


Bild 3. Arten der Diagnose

Tafel 3. Anteil der planmäßigen Instandhaltungskosten  $K_{I,IH}$  und den sich aus dem Diagnosebefund ergebenden Instandsetzungskosten  $K_{I,TD}$  an den in den Betrieben erfaßten Instandhaltungskosten  $K_I$

Land-technisches AM	$K_{I,IH}$ in M/IDK	$K_{I,TD}$ in M/IDK	$K_I$ in M/IDK	Anteil von $K_{I,IH}$ an $K_I$ in %	Anteil von $K_{I,TD}$ an $K_I$ in %
ZT 300/303	0,40	0,12	0,86	46,5	14,0
MTS 50/52	0,55	0,20	0,77	71,4	26,0

Weitergehende Untersuchungen (Tafel 3) zeigen aber auch, daß der Anteil der Instandhaltungskosten, der sich aus der Diagnose ergibt (Spalte 6), relativ gering ist und daß vor allem auch für den ZT 300/303 der Anteil der unplanmäßigen Instandhaltungskosten  $K_{I,U} = K_I - K_{I,IH} - K_{I,TD}$  überwiegt. Diese Untersuchungen zeigen, daß die Instandhaltungsmethode nach Überprüfungen nachweisbar ökonomische Vorteile bringt, die durch weiterentwickelte Diagnoseverfahren und Geräte noch verstärkt werden kann.

## 2. Effektive Durchführung der Diagnose

Gegenwärtig wird für mobile landtechnische AM die TD durchgeführt, indem die in den Technologien für die Hauptüberprüfung festgelegten Diagnosemaßnahmen mehr oder weniger realisiert werden. Alle angeführten Meßverfahren werden angewendet, und der Zustand wird im allgemeinen als gut/schlecht-Bewertung der Baugruppe eingeschätzt. Eine Angabe der Restnutzungsdauer (RND) ist in den seltensten Fällen möglich. Daher bleibt es notwendig, jährlich die relativ zeitaufwendigen Überprüfungen in den festgelegten Abständen durchzuführen.

Wird aber, ausgehend vom Bild 3, zuerst eine Komplexdiagnose, zumindest für ausgewählte Baugruppen, wie z. B. den Motor, vorgenommen, so kann aus der Aussage der Komplexdiagnose der weitere Überprüfungs- oder Instandsetzungsaufwand durch eine Tiefendiagnose abgeleitet werden.

Die permanente Diagnose in Form von permanenten Überwachungseinrichtungen wird z. Z. schon für einige Fälle angewendet, so z. B. für die Temperaturanzeige und die Ladekontrolle der Lichtmaschine. Sie erlangt in Zukunft vor allem bei Neuentwicklungen von landtechnischen AM eine größere Bedeutung. Dieser Trend, der in der DDR z. B. durch den E 516 zu belegen ist (u. a. Anzeige der Luftfilterverschmutzung, Öl- und Ölmenge der Hydraulikanlage), ist auch international erkennbar. Allerdings ist dabei zu beachten, daß keinesfalls alle Parameter durch permanente Einrichtungen überwacht werden können. Die periodische Diagnose wird künftig bei ver-

mehrtem Anwenden der RND-Prognose an Bedeutung gewinnen.

Die Gesamtdiagnose als Teil der periodischen Diagnose für das gesamte landtechnische AM läßt sich z. Z. nicht verwirklichen, da u. a. für das Getriebe keine praktisch anwendbaren Diagnoseverfahren bekannt sind. Für die landtechnische Instandhaltung ist die Teildiagnose aus der Sicht des verkehrstechnischen Zustandes von besonderer Bedeutung. Es sollte, wenn möglich, zuerst eine demontagefreie Komplexdiagnose vorgenommen werden, die ein Bewerten des Zustands zuläßt und anschließend, wenn erforderlich, eine Tiefendiagnose durchgeführt werden, die den möglichen Mangel genau angibt und damit als Grundlage für die folgende Instandsetzung gilt.

So ergibt sich z. B. die Überprüfung des Motors im Rahmen einer periodischen Diagnose,

indem der gesamte Motor diagnostiziert wird, und nur, wenn dabei Abweichungen vom Normzustand auftreten, wird eine Tiefendiagnose zur Fehlersuche als Grundlage für eine schadgruppenbezogene Instandsetzung vorgenommen.

## 3. Theoretische Betrachtungen zur Komplexdiagnose an Dieselmotoren

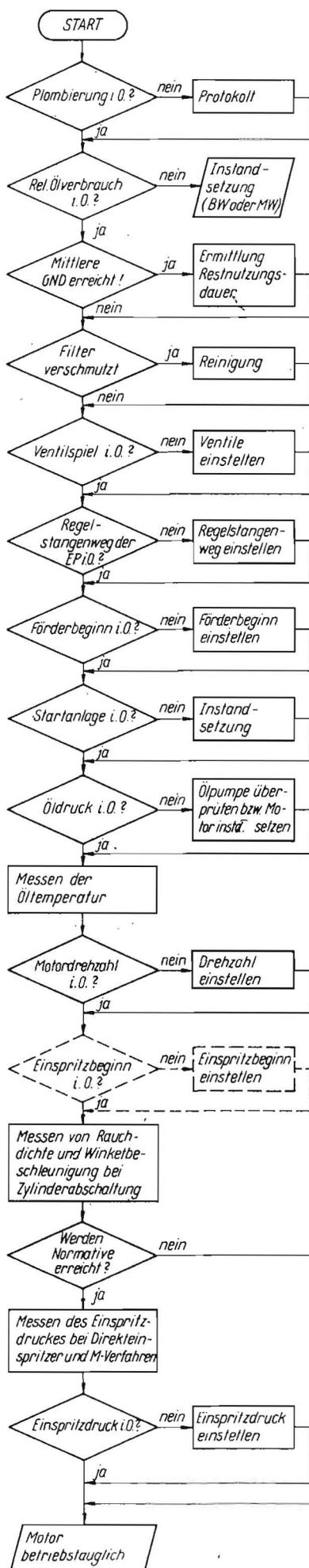
Bisher wurden in vorgegebenen Zeiträumen nach einer festen Technologie Prüfungen am Dieselmotor durchgeführt. Vielfach waren dazu aufwendige Demontearbeiten erforderlich. Neue Prüfverfahren zur Motordiagnose gestatten eine neue Methodik der Diagnose des Dieselmotors. Dabei wird vor allem an einen sinnvollen und logischen Einsatz der Rauchdichtemessung in Verbindung mit der Beschleunigungsmessung gedacht. Voraussetzung

Bild 5. Durchführung der Motordiagnose an einem ZT 303

a Rauchdichtemessgerät, b Momententester JK1, c Koordinatenschreiber, d Elektroprüfgerät Autotest 7B, e Anhängerkabelprüfgerät, f Manometer zur Überprüfung der Bremsanlage, g Einspritzanlagenprüfgerät DS 202, h Hydraulikprüfgerät HP 80/160



Bild 4  
Algorithmus für die  
Komplexdiagnose des  
Dieselmotors;  
i. O. in Ordnung,  
BW Baugruppenwech-  
sel, MW Motorwechsel



dafür ist jedoch eine Grundeinstellung bestimmter Motorbauteile. Der Ablauf der einzelnen Maßnahmen ist im Bild 4 dargestellt, ein Teil der dazu erforderlichen Diagnosegeräte ist im Bild 5 aufgeführt.

Vor Beginn der eigentlichen Messungen sind zu erfassen

- Plombierung der Einspritzpumpe,
- relativer Ölverbrauch und
- mittlere GND.

Aus den beiden letzten Kenngrößen können schon Aussagen über eine mögliche RND [5] gewonnen werden. Besondere Anstrengungen sind zu unternehmen, wenn die mittlere GND (Werte der Tafel 1) erreicht wurden, da mit größerer Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, daß am Motor Verschleißgrenzmaße erreicht wurden oder bald erreicht werden. Außerdem sind vor der eigentlichen Diagnose eine Reihe von Meßbedingungen und Grundeinstellungen zu realisieren, wie

- Reinigung der Filter,
- Ventilspiel,
- Regelstangenweg der Einspritzpumpe und
- Förderbeginn oder Einspritzbeginn der Einspritzpumpe.

Mit dem exakten Einstellen dieser Parameter wird die Grundlage für eine effektive Komplexdiagnose gelegt.

Beim Messen von Rauchdichte und Winkelbeschleunigung müssen gegenwärtig noch Zylinder abgeschaltet werden, um evtl. Schäden oder Einstellfehler, wie sie im Abschn. 4. beschrieben werden, zu erkennen. Allerdings könnte auch die Zylinderabschaltung im Rahmen der Komplexdiagnose entfallen. Dazu müßten für jeden Fahrzeugtyp Normativwerte für Rauchdichte und Beschleunigung vorliegen. Diese Werte werden gegenwärtig erarbeitet. Der Normativ-Rauchdichtewert wird z. B. 10 bis 20% unter den zulässigen Grenzwerten nach Standard TGL 22984/B1.5 liegen. Bei Einhalten dieser Werte könnte dann an den entsprechenden Dieselmotoren die weitere Prüfung beendet werden. Dieser Gesichtspunkt wird in Zukunft vor allem für den Bereich der Nutzer der Landtechnik besondere Bedeutung besitzen. Arbeitsmittel, die diese Werte nicht mehr einhalten, sind Spezialisten im Bereich der KfL zur weiteren Tiefendiagnose sowie anschließender Mängelbeseitigung, d. h. Instandsetzung zuzuführen. Dadurch werden einerseits unnötige Transporte vermieden, zum anderen wird abgesichert, daß die meist komplizierten und teuren Geräte zur Tiefendiagnose durch Spezialisten eingesetzt werden und die Instandsetzungsqualität gewährleistet wird. Gleichzeitig werden damit Probleme der Materialökonomie, wie DK-Einsparung, Einsparen von Baugruppen und Ersatzteilen u. a. unter den veränderten außenwirtschaftlichen Bedingungen respektiert.

#### 4. Durchführung der Tiefendiagnose an Dieselmotoren

Die Grundforderung nach Minimierung des Überprüfungsaufwands für die Komplexdiagnose soll auch für die Tiefenprüfung am Dieselmotor beibehalten werden. Die weiteren Prüfmaßnahmen/ gehen davon aus, daß die Parameter Rauchdichte und Beschleunigung im Rahmen der Komplexdiagnose nicht erreicht wurden. Dabei ist es vorläufig ohne Bedeutung, ob nur ein Parameter oder beide Parameter von den Normalwerten abweichen.

Gegenüber dem bisherigen Einsatz von speziellen Prüfverfahren zum Überprüfen einzelner Baugruppen, z. B. der Verdichtungsdruckmessung an allen Zylindern, wird vorgeschlagen,

die Tiefendiagnose mit komplexen Prüfverfahren fortzusetzen, jedoch unter Beachtung logischer Zusammenhänge. Es werden also in der ersten Stufe keine weiteren Meßgeräte gegenüber der Komplexdiagnose eingesetzt, sondern die erreichten Meßwerte werden untereinander verglichen und bewertet.

Die komplexen Prüfverfahren, wie das Messen der Rauchdichte, der Beschleunigung und in Zukunft evtl. des Anlaßstromverlaufs besitzen besonders im Aufwand für den Prüfgeräteeinbau wesentliche Vorteile gegenüber den speziellen Prüfmethoden.

Mit Hilfe der Abschaltmethodik sollen die Fehleinrichtungen der Schäden am Motor lokalisiert werden, um

- Einstellarbeiten oder
- Instandsetzungsarbeiten sofort durchführen zu können oder
- spezielle Prüfmaßnahmen an der georteten Fehlerquelle zur tieferen Diagnostizierung mit sofortiger Einstellung oder Instandsetzung anzuwenden.

Die Methode der Zylinderabschaltung kann jedoch nur unter Beachten folgender Randbedingungen sichere Aussagen liefern.

- Messen bei betriebswarmem Motor in einem Temperaturbereich von  $70 \pm 2^\circ\text{C}$
- Regelmäßiges Durchführen der Beschleunigungsintervalle
- Einhalten des Prüfalgorithmus der Komplexdiagnose und sofortiges Abstellen der Mängel während der Komplexdiagnose.

Die ersten beiden Forderungen sind nicht neu und für das Messen der Rauchdichte seit der Erarbeitung deren Meßmethode festgelegt. Zum besseren und objektiven Erfüllen dieser Forderungen wurde von [6] die Motorsteuer-einrichtung vorgeschlagen.

Die Ergebnisse der Rauchdichte und der Beschleunigung bei Zylinderabschaltung werden aufgrund folgender Überlegungen, die auch in verschiedenen praktischen Überprüfungen bestätigt wurden, bewertet.

Schäden oder Verstellungen an einem Verbrennungssystem führen zur Veränderung eines der beiden Parameter Rauchdichte und Beschleunigung oder beider Parameter gleichzeitig und damit zu Differenzen dieser Parameter beim Abschalten des betreffenden Verbrennungssystems. Schäden oder Verstellungen am Antriebssystem der Steuerung des Dieselmotors, an der Kraftstoffzuführung zur Einspritzpumpe oder am Ansaugsystem führen unabhängig vom abgeschalteten Verbrennungssystem ständig zu gleichen Werten der Parameter.

Vereinfacht gilt  
Rauchdichte

$$C_{RB1...i} = (C_{RB1} + C_{RB2} + C_{RBi}) : n$$

$i =$  Kennzeichnung der Zylinder  $1 \dots n$   
Beschleunigung

$$\dot{\varphi}_{1...i} = (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 + \dots + \dot{\varphi}_i) : n.$$

Für 4-Zylindermotor folgt

$$C_{RB1...4} = (C_{RB1} + C_{RB2} + C_{RB3} + C_{RB4}) : 4;$$

$$\dot{\varphi}_{1...4} = (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3 + \dot{\varphi}_4) : 4.$$

Bei Zylinderabschaltung erhält man

$$1 : C_{RB2,3,4} = (C_{RB2} + C_{RB3} + C_{RB4}) : 3;$$

$$\dot{\varphi}_{2,3,4} = [(\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3 + \dot{\varphi}_4) : 3] - \dot{\varphi}_1$$

$$2 : C_{RB1,3,4} = (C_{RB1} + C_{RB3} + C_{RB4}) : 3;$$

$$\dot{\varphi}_{1,3,4} = [(\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_3 + \dot{\varphi}_4) : 3] - \dot{\varphi}_2$$

$$3 : C_{RB1,2,4} = (C_{RB1} + C_{RB2} + C_{RB4}) : 3;$$

$$\dot{\varphi}_{1,2,4} = [(\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_4) : 3] - \dot{\varphi}_3$$

$$4 : C_{RB1,2,3} = (C_{RB1} + C_{RB2} + C_{RB3}) : 3;$$

$$\dot{\varphi}_{1,2,3} = [(\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_3) : 3] - \dot{\varphi}_4$$

z. B. Bei erhöhter Einspritzmenge im 2. Element folgt

$$C_{RB2} > C_{RB1} = C_{RB3} = C_{RB4} \text{ und}$$

$$\dot{\varphi}_2 > \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_3 = \dot{\varphi}_4.$$

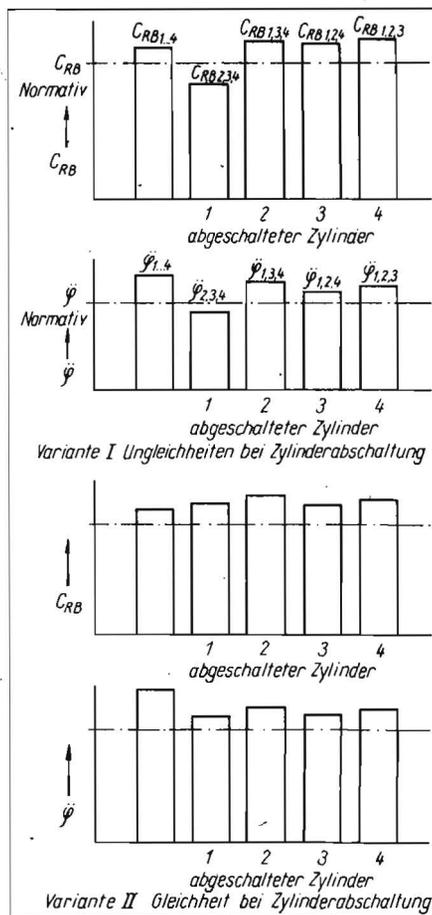


Bild 6. Varianten der Verteilung  $C_{RB}$  und  $\dot{\varphi}$

$$\text{aber } \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_3 = \dot{\varphi}_4$$

daraus folgt

$$C_{RB1,3,4} < C_{RB2,3,4} = C_{RB1,2,4} = C_{RB1,2,3}$$

und

$$\dot{\varphi}_{1,3,4} < \dot{\varphi}_{2,3,4} = \dot{\varphi}_{1,2,4} = \dot{\varphi}_{1,2,3}.$$

Als Verbrennungssystem in diesem Sinn wird eine Einheit aus Einspritzpumpenelement, Druckventil, Einspritzleitung, Düsenhalter mit Einspritzdüse, Zylinderkopf mit Ventilen und Kolben-Zylindergruppe angesehen. Entsprechend dieser beiden Möglichkeiten der Zuordnung der Parameter Rauchdichte und Beschleunigung, wie sie im Bild 6 dargestellt sind, können bereits erste Abgrenzungen der erforderlichen weiteren Prüfmaßnahmen und der folgenden Instandsetzungsleistungen vorgenommen werden.

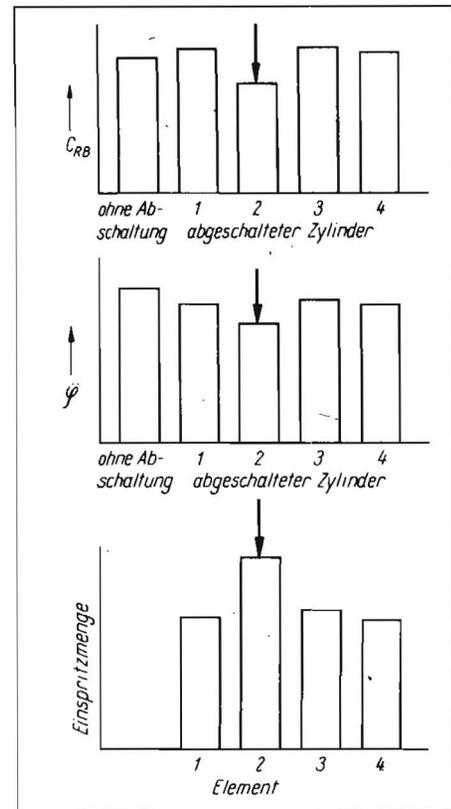


Bild 7. Verteilung der Rauchdichte  $C_{RB}$  und Beschleunigung  $\dot{\varphi}$  bei erhöhter Einspritzmenge im zweiten Element

Treten die Parameter nach Variante I auf, so sind Schäden oder Verstellungen prinzipiell in dem betreffenden Verbrennungssystem zu suchen, in dem bei Abschalten die Differenzen entstehen. Treten die beiden Parameter nach Variante II auf, so sind Schäden oder Verstellungen vorwiegend am Steuerungssystem des Motors oder an der Kraftstoffversorgung bzw. am Ansaugsystem des Motors zu suchen. Die Variante II wird jedoch aufgrund der bereits durchgeführten Überprüfungen im Rahmen der Komplexdiagnose und der sofortigen Mängelbeseitigung nur noch begrenzt auftreten. So sind z.B. bereits die Drehzahl, der Regelstangenweg, der Förderbeginn geprüft und eingestellt worden, und Luft- und Kraftstofffilter wurden bereits auf Reinheit geprüft. Das Nichteinhalten dieser Parameter würde unweigerlich zu einer Rauchdichte- und Be-

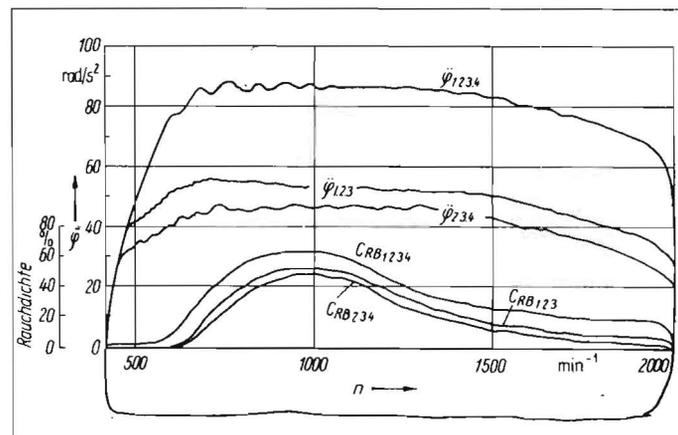


Bild 8 Winkelbeschleunigung  $\dot{\varphi}$  und Rauchdichte  $C_{RB}$  in Abhängigkeit von der Motordrehzahl

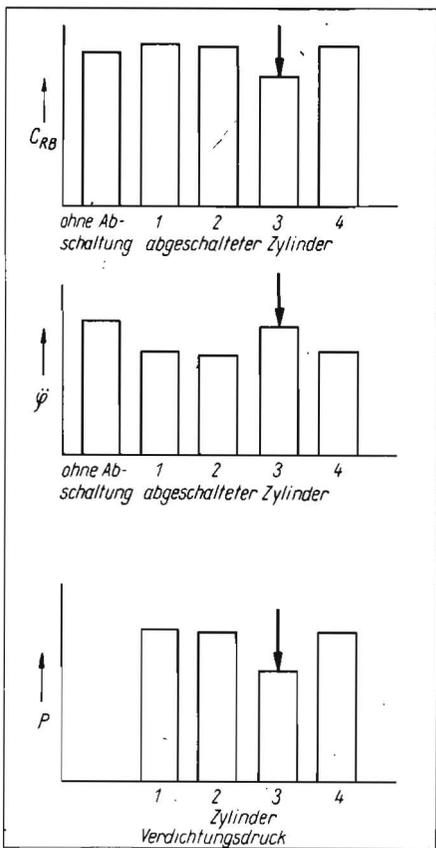


Bild 9. Verteilung der Rauchdichte  $C_{RB}$  und Beschleunigung  $\phi$  bei Schäden an der dritten ZKG

schleunigungsverteilung nach Variante II bei Zylinderabschaltung führen. Außer der Verstellung oder Schädigung durch Bewerten der Ergebnisse der Rauchdichte- und Beschleunigungsmessung bei Zylinderabschaltung nach den Varianten I und II ist es jedoch aufgrund der Verteilung der beiden Parameter besonders bei der Variante I auch möglich, noch weitere Einschränkungen hinsichtlich der Fehlerursache im Verbrennungssystem zu machen. Um entsprechende fehlertypische Verteilungen zu erarbeiten, wird der Einfachheit halber von bekannten Fehlern in einem Verbrennungssystem ausgegangen.

Dazu sollen folgende möglichen drei Fehler in einem Verbrennungssystem betrachtet werden:

- Einspritzmenge zu hoch oder zu niedrig
- Einspritzdruck und Einspritzbild nicht normal
- Schäden an der Zylinder-Kolbengruppe (ZKG), an den Ventilen oder am Zylinderkopf.

Die Einspritzmenge steht in direktem Zusammenhang mit Rauchdichte und Beschleunigung. Eine Zunahme der Einspritzmenge steigert aufgrund der Veränderung des Kraftstoff-Luft-Verhältnisses die Rauchdichte und erhöht durch die zusätzliche Energiezufuhr die Beschleunigung. Ein Senken der Einspritzmenge führt ebenfalls zum Senken beider Parameter. Jeder Zylinder wird aufgrund der in ihn eingespritzten Kraftstoffmenge zu einem Abgesteilstrom mit der Rauchdichte  $C_{RBi}$  führen, wobei mit  $i$  der entsprechende Zylinder bezeichnet wird. Die Gesamtrauchdichte  $C_{RB}$  kann vereinfacht als Mittelwert der einzelnen Rauchwerte  $C_{RBi}$  angesehen werden. Ohne Abschalten erhält man bei einem Vierzylindermotor z. B.  $C_{RB1...4} = (C_{RB1} + C_{RB2} + C_{RB3} + C_{RB4}) : 4$ .

Hierbei ist zu beachten, daß bei Abschalten eines Zylinders dieser eine bremsende Wirkung bei der Beschleunigung hervorruft. In den entsprechenden Gleichungen ist dies mit  $\phi_i$  vereinfacht aufgeführt.

Tritt nun z. B. am zweiten Element eine höhere Einspritzmenge auf, so wird der Wert  $C_{RB2}$  größer sein als  $C_{RB1}$  und  $C_{RB3}$  und  $C_{RB4}$ . Unter Beachtung dieses Verhältnisses werden die Rauchdichtewerte stets hoch sein, wenn der zweite Zylinder mitarbeitet und nur bei Abschaltung des Zylinders 2 wird der Rauchdichtewert niedriger sein. Für die Beschleunigung  $\phi_i$  gelten die gleichen Beziehungen. Bei Verstellungen der Einspritzmenge an einem Element werden deshalb stets Verteilungen der Parameter nach Bild 7 auftreten und damit eine gezielte Tiefendiagnose der Einspritzmenge am betreffenden Element (hier dargestellt am zweiten Element) zur Folge haben. Gleiches wurde auch im Bild 8 anhand eines Meßschriebs mit Hilfe eines Koordinatenschreibers dargestellt bzw. kann wie in Tafel 4 bestimmt werden.

Die Tiefendiagnose der Einspritzmenge wird mit Hilfe des Einspritzanlagenprüfgeräts DS 202 durchgeführt.

Die Variation des Einspritzdrucks bzw. des

Einspritzbildes führt in einem vertretbaren Änderungsbereich bei bestimmten Motortypen nicht zu solchen eindeutigen Veränderungen der Parameter Rauchdichte und Beschleunigung. Deshalb ist der Einspritzdruck auch im Rahmen der Komplexdiagnose stets zu messen, wobei unbedingt Prüfgeräte benutzt werden müssen, die auf eine Demontage des Düsenhalters aus dem Motor verzichten. Im Rahmen weiterer Untersuchungen sind besonders Methoden zur demontagearmen Diagnose der Einspritzdüsen zu erarbeiten. Bekannt sind hierfür Methoden, die auf der Bewertung des Einspritzverlaufs auf einem Oszilloskop basieren. Das Gerät „Engine Scope 852“ und „Injektion Analyzer 850 B“ der österreichischen Firma AVL gestatten z. B. mit Hilfe piezoelektrischer Geber in den Einspritzleitungen aller Zylinder gleichzeitig die Bewertung [7]:

- des dynamischen Förderbeginns
- der Einspritzdauer
- der Spritzverstellerfunktion
- des Düsenöffnungsdrucks
- des Einspritzdrucks
- des Standdrucks in der Einspritzleitung
- der Motordrehzahl
- der Start-Einspritzung
- der Leerlauf-Kraftstoffförderung u. a. m.

Damit lassen sich bis zu 20 Mängel an der kompletten Einspritzanlage erkennen. Eine breite praktische Anwendung in der DDR mit eigenen Geräten erfordert jedoch umfangreiche Untersuchungen und Entwicklungsarbeiten. Außerdem ist unbedingt zu beachten, daß das Prüfpersonal über eine ausreichende Qualifikation zur Bewertung solcher Einspritzverläufe und über die funktionellen Zusammenhänge im Einspritzsystem verfügt. Zum dritten möglichen Fehler an der ZKG, den Ventilen oder dem Zylinderkopf:

Infolge eines niedrigen Verdichtungsdrucks wird die Luftmenge im Zylinder vermindert und außerdem die Selbstzündetemperatur des Kraftstoffs nicht erreicht. Dadurch findet eine unvollständige Verbrennung statt. Die Rauchdichte wird aufgrund der unvollständigen Verbrennung ansteigen. Gleichzeitig wird die Beschleunigung bei Schäden an diesen Bauteilen aufgrund der energetischen Verluste und aufgrund der Undichtheit des Verbrennungsraumes sinken. Zum Beispiel bewirkt ein um 30 kPa (0,3 at) verringerter Verdichtungsdruck einen um 200 kPa (2 kp/cm<sup>2</sup>) verringerten Spitzendruck. Das bedeutet für einen Kolben mit 120 mm Dmr. ein Vermindern der Arbeitskraft des Kolbens um 2250 N (225 kp) [8]. Schäden an der ZKG, dem Zylinderkopf oder den Ventilen führen deshalb zu den im Bild 9 aufgeführten typischen Verteilungen der Rauchdichte und der Beschleunigung.

### 5. Vorteile der vorgeschlagenen Methodik der Komplex- und Tiefendiagnose

Für die Komplexdiagnose ergeben sich folgende Richtzeiten (gerader Durchlauf im Bild 4):

ZT 300/303	120 min (200 min)
MTS 50/52	75 min (170 min)
W 50	120 min (200 min)

Wird dagegen die Motordiagnose nach der bisherigen Technologie durchgeführt, so gelten die Zeiten in der Klammer.

Ergeben die Aussagen der Messungen, daß ein Fehler vorliegt, also eine Tiefendiagnose durchgeführt werden muß, so wird der angegebene Zeitumfang natürlich ansteigen, wobei das aber zur Folge hat, daß nicht nur der Fehler angegeben werden kann, sondern eine sofortige exakte Einstellung des Motors reali-

Tafel 4. Effektive Meßwerterfassung bei der Tiefendiagnose des Dieselmotors

	4. Zyl.	1. Zyl.	2. Zyl.	3. Zyl.	4. Zyl.	t <sub>m</sub>
Rauchdichte	vor					
in %	nach					
Winkelbeschleunigung	vor					
in rad/s <sup>2</sup>	nach					
Einspritzmenge in cm <sup>3</sup> /200 Hub						
Einspritzdruck in MPa						
Zustand Einspritzdüsen						
Verdichtungsdruck in MPa						

siert werden muß. Ein Teil der bisher stets durchzuführenden Meßverfahren wie Verdichtungsdruckmessung wird nur noch für die Tiefendiagnose benötigt. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, daß die Schwerpunkte der Tiefendiagnose das exakte Einstellen der Einspritzpumpe umfassen.

Damit wird deutlich, daß durch Anwenden der Komplexdiagnose die Diagnosezeit verkürzt oder aber eine echte schadgruppenbezogene Instandsetzung durch weitere Tiefendiagnoseverfahren ermöglicht wird. Voraussetzung für das Anwenden dieses Verfahrens ist aber, daß von der subjektiven Feststellung des Zustands abgegangen wird, und daß für die Normative der zu messenden Kenngrößen unter definitiv festzulegenden Bedingungen Vergleichswerte vorhanden sind.

Volkswirtschaftlich kann ein wesentlicher ökonomischer Effekt erreicht werden, wenn diese Diagnoseverfahren nicht nur im Rahmen einer Hauptüberprüfung, sondern auch in Form der Fehlersuchdiagnose als Grundlage für die Teilinstandsetzung angewendet werden.

Zumindest ebenso wichtig ist das Einordnen der Hauptüberprüfung in das gesamte Instandhaltungswesen, da mit dem bloßen Feststellen der Mängel die Ursachen noch nicht beseitigt sind. Zwischen der TD und der bei etwa 70% der diagnostizierten landtechnischen AM notwendigen Instandsetzung muß eine echte Einheit bestehen.

#### 6. Zusammenfassung

Das breite Anwenden der Komplexdiagnose

bringt eine Reihe von Problemen mit sich, die vor allem in der gerätetechnischen Bereitstellung und in der Qualifikation des Prüfpersonals bestehen. Es zeichnet sich auch unter Beachten der künftigen Entwicklung ab, daß nur durch ausgebildete und unterwiesene Spezialisten die Meßgeräte und Verfahren praxisbezogen angewendet werden können. Die Zeiteinsparungen und damit die ökonomischen Auswirkungen, die sich aus der Komplexdiagnose ergeben, sind für das gesamte Instandhaltungswesen so groß, daß die Lösung nachstehender Aufgaben weiterhin besonders beachtet werden sollte.

— Erarbeiten von Meßverfahren und Geräten, die eine effektive Komplexdiagnose des Motors ermöglichen

Hier sind auch solche Geräte zu berücksichtigen, wie z. B. die Motorsteuereinrichtung DS 205, mit deren Hilfe reproduzierbare Aussagen in der Auswertung ermöglicht werden. Aber auch Überlegungen hinsichtlich eines effektiven Auswertens der Meßergebnisse, z. B. durch Koppeln der Meßgeräte mit Mikrorecheneinheiten und damit einer automatisierten Diagnose bzw. Auswertung sollten Beachtung finden.

— Schaffen der Normative als Vergleichswerte für die Aussagen der Messungen

Das Schaffen von Normativen, bezogen auf den Maschinentyp, ist auch unter dem Gesichtspunkt der rationellen Energieanwendung eine unbedingte Notwendigkeit.

— Erarbeiten von Technologien für die Komplexdiagnose

— Ausbildung der Prüfpezialisten unter diesen Gesichtspunkten.

#### Literatur

- [1] Gebhardt, N.: Forschungsbericht Organisation der technischen Diagnostik mobiler landtechnischer Arbeitsmittel. VEB Rationalisierung Neuenhagen 1979 (unveröffentlicht).
- [2] Borrmann, K.D.; Leopold, K.: Nutzungsdauer der landtechnischen Arbeitsmittel in Abhängigkeit von Wartung und Pflege. agrar Markkleeberg 1975.
- [3] Neumann, K.: Untersuchungen in der Diagnosestation der Spezialschule für Landtechnik Großenhain. Ing.-Büro für vorbeugende Instandhaltung. Dresden 1975 (unveröffentlicht).
- [4] Eifert, R.; Kieslich, M.: Die weitere Erhöhung der Effektivität der Hauptüberprüfung am ZT 300/303. MTS 50/52. MTS 80/82. W 50 und LD. Ing.-Arbeit. Ingenieurschule für Kraft- und Arbeitsmaschinen Meißen 1980.
- [5] Tilgner, W.: Grundlagen und praktische Erfahrungen in der Anwendung der Restnutzungsdauerprognose von Dieselmotoren. Vortrag 3. Fachtagung Technische Diagnostik. 9. u. 10. Oktober 1980 in Großenhain. agrartechnik 31 (1981) H. 3, S. 103—106.
- [6] Krause, W.: Analyse der Anwendung herkömmlicher Diagnosegeräte für Dieselmotoren und daraus abgeleitete Entwicklung einer Motorsteuereinrichtung. Vortrag 3. Fachtagung Technische Diagnostik. 9. u. 10. Oktober 1980 in Großenhain.
- [7] Zünd- und Einspritzindikator System 850. Firmenschrift der AVL Österreich.
- [8] Electronic-Compressions-Tester. Firmenschrift der AVL Österreich. A 2972

## Analyse der Anwendung herkömmlicher Diagnosegeräte für Dieselmotoren

Ing. W. Krause, KDT, Ingenieurbüro für vorbeugende Instandhaltung Dresden

Nahezu alle Traktoren und selbstfahrenden Arbeitsmaschinen werden durch einen Dieselmotor angetrieben. Er beeinflusst somit die Zuverlässigkeit einer Vielzahl landtechnischer Arbeitsmittel. Bei der Entwicklung und Anwendung von Diagnoseverfahren und -geräten wird deshalb dem Dieselmotor besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

### 1. Analyse der Anwendung herkömmlicher Diagnosegeräte für Dieselmotoren

#### 1.1. Charakteristische Merkmale des Schädigungsverhaltens beim Dieselmotor

Die Kenntnis des prinzipiellen Schädigungsverhaltens einer Baugruppe ist eine wichtige Voraussetzung für den richtigen und zielgerichteten Einsatz von Diagnoseverfahren und -geräten.

Der Dieselmotor stellt eine verhältnismäßig komplexe Baugruppe dar, bei der eine Vielzahl von Einzelteilen und Baugruppen zusammenwirken. Dabei kann sich der momentane Zustand einzelner Teile oder Unterbaugruppen erheblich auf den Betrieb des Dieselmotors und

den Schädigungsverlauf anderer Unterbaugruppen des Dieselmotors auswirken. Der Schädigungsverlauf an vielen Verschleißpaarungen des Dieselmotors wird in starkem Maß durch stochastisch auftretende Erscheinungen beeinflusst. Eine Restnutzungsdauerprognose für den Dieselmotor ist deshalb nur für einzelne Unterbaugruppen sinnvoll.

Man kann weiterhin davon ausgehen, daß an modernen durchkonstruierten Dieselmotoren keine Frühausfälle aufgrund des normalen, funktionsbedingten Verschleißes auftreten. So wird zum Beispiel bei ausschließlichem Auftreten normaler Verschleißerscheinungen die Aussonderungsgrenze der Zylinder-Kolben-Gruppe durch den zunehmenden relativen Ölverbrauch bestimmt, wobei vor dem Erreichen der Aussonderungsgrenze kein Schaden zu erwarten ist. Frühausfälle treten vorwiegend durch Abweichungen vom normalen Betrieb auf. Die wichtigsten Ursachen für Frühausfälle und einen anormalen Schädigungsverlauf sind:

- Einstellfehler
- Montagefehler
- fehlerhafte Einzelteile

— mangelnde Pflege und Wartung

— konstruktive Mängel, die im Verlauf der weiteren Produktion abgestellt werden.

Gleichzeitig muß man davon ausgehen, daß zum Beispiel die zur Zeit angewendeten Diagnosegeräte für die Überprüfung der Zylinder-Kolben-Kopf-Gruppe keine Aussage über den Schädigungszustand zulassen, soweit sich dieser in normalen Grenzen bewegt. Die Ursache dafür besteht besonders in der unterschiedlichen Abdichtwirkung der freibeweglichen Kolbenringe in Abhängigkeit der Kolbenringstoßstellungen zueinander.

Feststellbar sind demgegenüber schadhafte Einzelteile, die einen beschleunigten Schädigungsverlauf bis zum Verlust der Betriebstauglichkeit des Motors bewirken können.

#### 1.2. Zielstellung und Einsatzvarianten

##### von Diagnosemaßnahmen am Dieselmotor

Besonders bei landtechnischen Arbeitsmitteln, die sich jährlich zum Teil nur wenige Tage oder Wochen im Einsatz befinden, kommt der Erhöhung der Zuverlässigkeit der einzelnen Maschine bzw. der Maschinenkette besondere Bedeutung zu. Gleichzeitig ist es jedoch auch