

Lebensdauerermittlung von Hydraulikpumpen auf der Grundlage von Schädigungsuntersuchungen und Ergebnissen der technischen Diagnostik

Dr. sc. techn. E. Hlawitschka, KDT

1. Einleitung

Hydraulikanlagen sind zu einem wesentlichen Bestandteil von Landmaschinen und Traktoren geworden. Infolge ihrer vielfältigen Nutzung für Mechanisierungs- und Automatisierungsaufgaben steigt der wertmäßige Anteil der Hydraulikgeräte am Gesamtwert der in der Landwirtschaft eingesetzten Technik beständig an. Er beträgt z. B. beim Mähdrescher E 512 etwa 4 % und steigt beim Mähdrescher E 516 auf etwa 24 % an [1]. Daraus und auch aus der Notwendigkeit der Erhöhung der Verfügbarkeit der Landtechnik leitet sich die Aufgabe ab, einerseits die Schädigung der Hydraulikgeräte durch exakte Einhaltung der Betriebs-, Pflege- und Wartungsvorschriften auf ein Minimum zu beschränken und andererseits den in Hydraulikgeräten ablaufenden Schädigungsprozeß konkret zu untersuchen.

Eine besondere Aufgabe besteht darin, die Auswirkung der Schädigung zu ermitteln, um sie ggf. zur Feststellung des Schädigungszustands mit Hilfe von Methoden und Verfahren der technischen Diagnostik zu nutzen. Letztere schafft die Möglichkeit, Erkenntnisse über die Lebensdauer von Hydraulikgeräten zu gewinnen. Die Meßwerte, die bei der Diagnose erzielt werden, lassen jedoch nur dann eine zielgerichtete Aussage zu, wenn die Grenzwerte der Schädigung, die den Zeitpunkt des Aussonderns der Geräte kennzeichnen, bekannt sind. Damit wird deutlich, daß Schädigungsforschung und technische Diagnostik einander ergänzen, da erstere wesentliche Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der technischen Diagnostik in der Praxis schaffen muß.

2. Schädigungsuntersuchungen

Die Schädigung von Bauteilen ist ein stochastisch ablaufender Prozeß. Gelingt es, eine genügend große Anzahl von Untersuchungsergebnissen zur Schädigung zu erfassen, so wird es mit Hilfe mathematischer Methoden möglich, vielseitig nutzbare Erkenntnisse zu gewinnen. Dieser Weg wurde beschritten, um neben Aussagen zur Veränderung der Geometrie und der Oberflächen von Bauteilen verschiedener Hydraulikgeräte auch solche zum zeitlichen Verhalten hydraulischer Größen, z. B. des Förderstroms von Pumpen, treffen zu können.

Mehrjährige Untersuchungen erbrachten den Nachweis [2, 3], daß die Mehrzahl der in der Landtechnik eingesetzten Hydraulikgeräte infolge von Verschleiß der die Dichtspalte bildenden Bauelemente ausgesondert werden muß. Dieser je nach dem Pflege- und Wartungsniveau des Einsatzbetriebs und der Einsatzbedingungen mehr oder weniger langsam ablaufende Vorgang ist besonders typisch für alle Hydraulikgeräte, die in der Landtechnik zum Einsatz gelangen. Abnutzungserscheinungen zeigen sich bei den wichtigsten Hydraulikgeräten in folgender Weise:

– Zahnradpumpen: Verschleiß unterschiedlicher Ausprägung an den den Axial-, Ra-

dial- und Gleitspalt bildenden Bauelementen [3], Verschleiß des Keilwellenprofils der Antriebswelle

– Radialkolbenpumpen: Verschleiß der Kolben und Zylinderbohrungen, besonders an den Bauteilenden, Verschleiß des Steuerzapfens und der Rotorlagerung [2]

– Axialkolbeneinheiten: Verschleiß der Kolben und Zylinderbohrungen, besonders an den Bauteilenden, Verschleiß des Steuerspiegels, der Gleitschuhe und der Schragscheibe [4]

– Arbeitszylinder: Schädigungen an den gummielastischen Dichtungen [5], an den Kolbenstangen und an den Stangenköpfen, Verschleiß und Verformungen der Zylinderwände

– Wegeventile: Gehäuse- und Kolbenschiebersverschleiß, besonders an den Steuerkanten [2].

Die geschädigten Bauteiloberflächen weisen sehr unterschiedliche Merkmale auf. Meist ist festzustellen, daß der Werkstoff flächig von den Bauteilen abgetragen wird. Je nach Intensität und Dauer des Schädigungsvorgangs kommt es zur Ausbildung von partiellem oder totalem Flächenverschleiß. Daneben kennzeichnen mehr oder weniger starke Riefen viele Gleitflächen. Die Dichtflächen sind von Riefen durchfurcht. Beide Erscheinungen führen infolge des Werkstoffabtrags zur Spalt- bzw. Spielvergrößerung der gepaarten Bauteile. Mehrfach wurde aber auch vornehmlich in Gleitlagern von Zahnradpumpen nach Standard TGL 10859 das Auftragen von Werkstoff festgestellt [3]. Bei diesen mit Zinn beschichteten Gleitlagern lagern sich nach der Inbetriebnahme der Pumpe Zinnpartikel an weniger belasteten Stellen des Gleitlagers an und bilden einen meßtechnisch nachweisbaren Werkstoffauftrag.

Durch eine entsprechende Dimensionierung der Elemente der Hydraulikgeräte wollen die Hersteller erreichen, daß der Verschleiß durch Gewährleistung der Schwingreibung zwischen den belasteten und sich bewegenden Bauteilen gering bleibt. Dennoch konnte sowohl in Zahnrad- als auch in Axialkolbenpumpen nachgewiesen werden [2, 6], daß hochbelastete Gleitflächen infolge Mischreibung geschädigt werden. Hohe Betriebsdrücke, geringe Ölviskosität und eine ungünstige Schmierpaltgeometrie sind Ursachen dafür. Die Folge ist nicht nur ein intensiver Abrieb an den jeweiligen Oberflächen, sondern als sekundäre Wirkung eine vermehrte Schädigung anderer Gleitpartner durch die entsprechenden Abriebprodukte.

Meist führt die Schädigung der die Dichtspalte bildenden Flächen zur Vergrößerung der Dichtspaltweite und damit zur Erhöhung der Leckverluste. Wegen der von der 3. Potenz der Spaltweite abhängigen Leckverluste erhöhen sich diese z. B. bei Verdopplung der Spaltweite auf den achtfachen Wert. Da die während des Betriebens von Hydraulikgeräten vorhandenen Spaltweiten zwischen etwa 3 bis 30 µm liegen (konstruktive Ausfüh-

rung, Belastung, Ölviskosität usw. bestimmen die Spaltgröße), führen bereits geringe Abnutzungsbeträge zur beträchtlichen Erhöhung der Leckagemengen. Deshalb ist z. B. der Förderstrom bzw. der Förderstromabfall von Hydraulikpumpen ein gut geeignetes Maß zur Charakterisierung ihrer Schädigung.

3. Schädigungsverlauf und Lebensdauer

Für den Einsatz in Traktoren und Landmaschinen liegen zur Schädigung von Hydraulikgeräten in Abhängigkeit von der Betriebszeit bisher nur spärliche Angaben vor. Die Kenntnis des Schädigungsverlaufs ist aber von besonderem Interesse, denn sowohl Hersteller, Nutzer als auch Instandhalter können daraus entsprechende Entscheidungen ableiten.

Die Möglichkeit des Ermitteln des Schädigungsverlaufs bei Hydraulikgeräten zeichnet sich ab, nachdem sich das Verfahren der technischen Diagnostik in vielen Landwirtschaftsbetrieben durchgesetzt hat. Mit Hilfe der in das Diagnosesystem DS 1000 integrierten Meßgeräte kann der Volumenstrom in Hydraulikanlagen bei vorgegebenen Überprüfungsbedingungen gemessen werden, so daß nach mehreren, zeitlich aufeinanderfolgenden Überprüfungen eine Aussage über die Volumenstromabnahme, die ein Maß für die Schädigung darstellt, getroffen werden kann. Damit gelangt man z. B. für Hydraulikpumpen zu ersten Erkenntnissen über den Schädigungsverlauf.

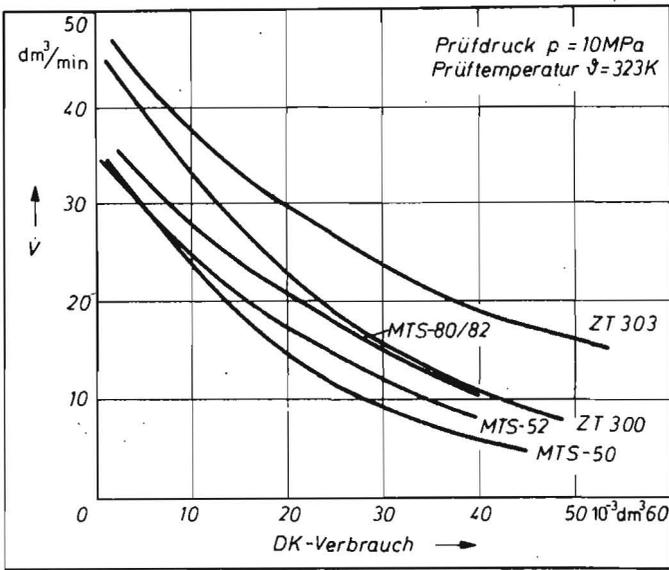
Im Rahmen einer Zustandsanalyse von Traktorhydraulikanlagen wurden die mehrjährigen Meßergebnisse aus 6 Diagnosestationen des Bezirks Rostock ausgewertet [6]. In dieser Erfassung sind die Diagnoseergebnisse der Hydraulikanlagen der Traktoren ZT 300/303, MTS-50/52 und MTS-80/82 enthalten. Insgesamt wurden 180 Traktoren in die Auswertung einbezogen.

Die Einschätzung des Schädigungszustands erfolgte auf der Basis der gemessenen Förderströme der Pumpe. Wegen der relativ großen Streuung der Meßwerte wurde der zeitliche Förderstromverlauf mit Hilfe einer Regressionsrechnung ermittelt. Es zeigte sich, daß der Kennlinienverlauf durch mehrere gewählte Regressionsfunktionen mit nahezu gleicher Bestimmtheit wiedergegeben wird. Für die Kennzeichnung des Förderstromverlaufs hat sich die Funktion $\dot{V} = a \cdot e^{-bt}$ als recht geeignet erwiesen. Das Ergebnis der Auswertung ist im Bild 1 dargestellt worden. Dazu muß folgendes bemerkt werden:

– Alle untersuchten Hydraulikpumpen zeigen tendenziell das gleiche Schädigungsverhalten.

– Im Untersuchungszeitraum verringert sich der Förderstromrückgang mit zunehmender Betriebszeit. Das beweist, daß kein linearer Zusammenhang zwischen dem Verschleißverlauf und dem Leckverluststrom besteht.

– Der DK-Verbrauch des Traktors ist nicht



Tafel 1. Prozentualer Anteil der von Traktoren durchschnittlich durchgeführten Arbeitsarten

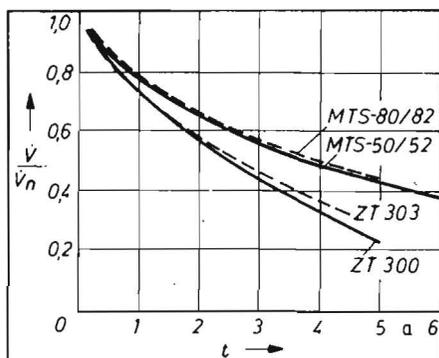
Arbeitsart	Traktorentyp			
	ZT 300	ZT 303	MTS-50/52	MTS-80/82
Bodenbearbeitung	8	50	—	12
Saatbettbereitung	40	12	8	4
Düngung	6	6	2	2
Bestellung	2	6	2	5
Pflegearbeiten	—	—	12	10
Kartoffelroden	1	—	5	5
Heuwerbung	—	—	2	—
Strohpressen	—	—	—	10
Transport	bis 45	bis 30	bis 70	bis 50

Bild 1. Förderstromverhalten von Hydraulikpumpen verschiedener Traktoren

unbedingt ein Maß für die tatsächliche Betriebszeit der Hydraulikpumpen, da die Aufzeichnungen in den Bordbüchern der Traktoren keine Aussage über die jeweilige Betriebszeit der Hydraulikanlagen enthalten.

- Konkrete Angaben über Belastungsdauer, Belastungshöhe, Einsatzcharakteristik des Traktors, Pflegeniveau usw. sind in den Aufzeichnungen der Diagnosestationen nicht oder nur in unzureichendem Maß enthalten.
 - Trotz der Fortschritte in der Qualifizierung des Diagnosepersonals und der Zunahme des Erfahrungsschatzes dieses Personenkreises können Meßfehler bei der Bestimmung des Pumpenförderstroms nicht ausgeschlossen werden (nicht verwertbare Aufzeichnungen). Vor allem ist nicht sicher, daß wegen einer möglichen Geberschädigung die Kalibrierkurve der Volumenstromgeber den tatsächlichen Durchfluß in jedem Fall widerspiegelt.
 - Bei der Bewertung der Kurvenverläufe ist zu beachten, daß sich die Bauart der Hydraulikpumpe im Traktor ZT 300/303 (Radialkolbenpumpe) von der in den Traktoren MTS-50/52 und MTS-80/82 (Zahnradpumpe) unterscheidet.
- Man kann vermuten, daß die von den Traktoren zu verrichtenden Arbeitsarten bezüglich des zu erwartenden Verschleißes der Hydraulikgeräte eine entsprechende Bedeutung haben. In Auswertung technisch-ökonomischer Aufzeichnungen in [7, 8] ergeben sich

Bild 2. Bezogenes zeitliches Förderstromverhalten von Hydraulikpumpen verschiedener Traktoren



im Mittel für die angegebenen Traktorentypen die in Tafel 1 zusammengestellten Zeitanteile für die einzelnen Arbeitsarten. Bei einem Vergleich mit Bild 1 läßt sich jedoch keine eindeutige Schlußfolgerung zum Einfluß bestimmter Arbeitsarten auf das Verschleißverhalten von Hydraulikpumpen ziehen. Um einen Bezug zur mittleren erreichbaren Lebensdauer herstellen zu können, wird mit Hilfe des durchschnittlichen jährlichen Kraftstoffverbrauchs der verschiedenen Traktorentypen (Tafel 2), der den Protokollen der Diagnosestationen entnommen wurde, der Pumpenförderstrom in Abhängigkeit von der Betriebszeit berechnet. Zur besseren Vergleichbarkeit erfolgte gleichzeitig unter Nutzung des jeweiligen Nennförderstroms der Pumpe die Umrechnung des realen Förderstroms in die dimensionslose Bezugsgröße \dot{V}/\dot{V}_n . Das Ergebnis wurde im Bild 2 dargestellt. Hieraus erkennt man folgendes:

- Die entsprechend Tafel 1 mit großen Zeitanteilen für die Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung eingesetzten Traktoren ZT 300 und ZT 303 weisen einen höheren Förderstromabfall als die häufig für Transporte und leichtere Feldarbeiten eingesetzten Traktoren MTS-50/52 und MTS-80/82 auf. Damit ist die größere Häufigkeit der Benutzung der Arbeitshydraulik ein wesentlicher Grund für die größere Schädigung der Hydraulikpumpe.
- Einen Einfluß auf den zeitlichen Schädungsverlauf dürfte die größere Schmutzempfindlichkeit der in den Traktoren ZT 300 und ZT 303 eingesetzten Radialkolbenpumpen haben, wodurch es zur rascheren Abnahme des Förderstroms kommen kann.
- Wegen der geringen Unterschiede im Kurvenverlauf für die Traktoren mit dem gleichen Pumpentyp ist ein Einfluß der verschiedenen Einsatzcharakteristiken (Tafel 1) nicht zu erkennen.

Die Kenntnis der zeitlichen Abhängigkeit des Förderstroms der Hydraulikpumpen läßt Aussagen über deren mittlere Lebensdauer zu. Hierzu können die in [2, 9] fixierten Aussonderungsgrenzwerte benutzt werden. Während in [2] die Aussonderungsgrenze mit 60 % des Nennförderstroms der Pumpe festgelegt wurde, läßt [9] für die o. g. Traktorentypen 56 bis 60 % des Nennförderstroms als ausreichend zu. Benutzt man diese Grenz-

Tafel 2. Durchschnittlicher jährlicher DK-Verbrauch von Traktoren nach Aufzeichnungen in 6 Diagnosestationen des Bezirks Rostock

Traktorentyp	DK-Verbrauch dm³/a
ZT 300	6 720
ZT 303	10 750
MTS-50/52	3 475
MTS-80/82	5 200 ¹⁾

1) nach Angaben in [7, 8]

werte zur Festlegung der aus technologischer und energieökonomischer Sicht sinnvollen Nutzungsdauer, dann kann aus Bild 2 für die Radialkolbenpumpe in den Traktoren ZT 300 und ZT 303 eine mittlere Lebensdauer von etwa 2 Jahren und für die Zahnradpumpe in den Traktoren MTS-50/52 und MTS-80/82 eine mittlere Lebensdauer von etwa 2,5 bis 3 Jahren abgelesen werden.

Wegen der o. g. Probleme bei der Kennlinienermittlung sollten die Angaben zur mittleren Lebensdauer der Hydraulikpumpen als ein erstes diesbezügliches Ergebnis der mehrjährigen Diagnose der Hydraulikanlagen angesehen werden. Gleichzeitig weist Bild 2 aus, daß eine Reihe von Hydraulikanlagen länger betrieben werden, als es die Aussonderungsgrenze vorsieht. Die in [9] festgelegten Aussonderungsgrenzwerte werden demnach nicht konsequent eingehalten und Hydraulikpumpen vielfach zu spät durch funktionstüchtige Geräte ersetzt. Das bedeutet, daß solche Hydraulikanlagen dann mit großen Verlusten arbeiten und die Leistungsfähigkeit erheblich eingeschränkt ist. Ohne sich über die Auswirkungen stark geschädigter Hydraulikpumpen bzw. -geräte im klaren zu sein, ist die Praxis offenbar mit einem geringen Arbeitsvermögen der Hydraulikanlagen von Traktoren zufrieden. Daher ist unbedingt dafür zu sorgen, daß die Diagnose Richtlinien konsequenter als bisher durchgesetzt werden.

4. Zusammenfassung

Die überwiegende Anzahl von Hydraulikgeräten muß infolge von Verschleiß ausgesondert werden. Für wichtige Geräte werden die Verschleißerscheinungen angegeben und die Folgen gezeigt. Der sich mit der Betriebsdauer einstellende Förderstromabfall der Hy-

draulikpumpen kennzeichnet deren Schädigungszustand in besonderem Maß. Ausgehend von mehrjährigen Ergebnissen in Diagnosestationen des Bezirks Rostock wird der zeitliche Förderstromverlauf zur Ermittlung der Lebensdauer von Hydraulikpumpen der Traktoren ZT 300/303, MTS-50/52 und MTS-80/82 benutzt.

Literatur

- [1] Hlawitschka, E.: Technische und ökonomische Gesichtspunkte für automatisierungsgerechte Antriebskonzeptionen von Landmaschinen. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 10, S. 438-440.
- [2] Hlawitschka, E.: Beitrag zur Strategie und zur Quantifizierung von Schädigungsgrenzen für hydrostatische Baugruppen – dargestellt am Bei-

- spiel der Zahnrادpumpen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation B 1978.
- [3] Wosniak, R.: Experimentelle und theoretische Leckverlustanalyse in Zahnrادpumpen und Bestimmung von Aussonderungsgrenzen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1981.
- [4] Wolff, G.: Theoretisch-experimentelle Bestimmung der Lässigkeitsverluste an Axialkolbenpumpen unter dem Aspekt der Ermittlung von Schädigungsgrenzen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Abschlußbericht 1977 (unveröffentlicht).
- [5] Schrader, K.: Schäden und Berechnungen an gummielastischen Dichtungen. Berichtsband der 3. Fachtagung „Hydraulik und Pneumatik“, Teil 2, Dresden 1979.
- [6] Roschig, D.: Auswahl von Hydraulikpumpen für Traktoren unter Berücksichtigung ihres Schädigungs-Nutzungsdauer-Verhaltens. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1983 (unveröffentlicht).

- [7] Betzel, H.: Technologisch-ökonomische Auswertung betrieblicher Unterlagen über den Maschineneinsatz im VEG(P) Gransebieth-Grimmen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Großer Beleg 1983 (unveröffentlicht).
- [8] Fischer, D.: Technologisch-ökonomische Auswertung betrieblicher Unterlagen über den Maschineneinsatz in der LPG Bobitz. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion, Großer Beleg 1983 (unveröffentlicht).
- [9] Köhler, H.: Einstell-, Prüf- und Aussonderungskennwerte für Hydraulikanlagen. Landtechnische Informationen, Leipzig 22 (1983) 1, Beilage. A 4300

Ergebnisse schädigungsanalytischer Untersuchungen an getriebetechnischen Baugruppen

Prof. Dr. sc. techn. J. Müller, KDT

Mit Bildung der Sektion Landtechnik an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock wandte sich die getriebetechnische Forschung an dieser Bildungseinrichtung spontan den aktuellen Fragen der Schädigung getriebetechnischer Baugruppen [1] zu, und aufgrund analoger Vorgehensweise bei schädigungsanalytischen Untersuchungen für hydraulische und getriebetechnische Bauelemente schlossen sich die Mitarbeiter für die Lehrgebiete „Getriebetechnik“ und „Hydraulik“ zu einem Forschungskollektiv zusammen, in das weiterhin Forschungskapazität des Kollektivs „Meßtechnik“ integriert wurde. Das gemeinsame Forschungsthema „Schädigung und Schädigungsgrenzen getriebetechnischer und hydraulischer Baugruppen einschließlich ihrer technischen Diagnose“ trägt sowohl aktuellen als auch perspektivischen Forderungen Rechnung. Schädigungsanalytische Untersuchungen liefern die Voraussetzungen zum Ableiten von rationalen Instandsetzungs- und Diagnosemaßnahmen, sind aber auch gleichzeitig Grundlage für ein gezieltes Entwickeln von Verfahren zur Berechnung und Konstruktion von Bauteilen und Baugruppen mit gesichertem Zuverlässigkeitsniveau.

Der interdisziplinäre Zusammenschluß von Wissenschaftlern der Wissenschaftsbereiche „Theorie der Maschinen und Mechanismen“ sowie „Erhaltung“ in dem o. g. Forschungskollektiv schafft die Voraussetzung dafür, komplexe Aufgaben der genannten Art in Angriff zu nehmen und einen Beitrag zum Realisieren der folgenden volkswirtschaftlichen Zielstellungen zu leisten:

- Minimierung des Ersatzteilbedarfs
- Minimierung materialökonomischer Kennzahlen.

Es entstand eine Reihe grundsätzlicher Arbeiten [2, 3, 4], die die Basis für die Entwicklung des in der Landtechnik eingeführten komplexen Meßgerätesystems DS 1000 [5, 6] oder für die Schlußfolgerung zum Ableiten von Maßnahmen für Instandhaltung, Entwicklung und Fertigung hydraulischer [7, 8, 9, 10] und getriebetechnischer Baugruppen bilden.

Außerdem sei darauf hingewiesen, daß im Rahmen schädigungsanalytischer Untersuchungen gewonnene Erkenntnisse keineswegs nur Antwort auf die eigentliche, die Untersuchung auslösende, schädigungsbezogene Fragestellung gaben, sondern darüber hinaus auch Neuentwicklungen von Geräten und technologischen Verfahren als zusätzliche Überführungsleistung lieferten.

Am Beispiel gleichmäßig und ungleichmäßig übersetzender Getriebe soll für eine Reihe gewonnener Erkenntnisse der breite Wirkungsbereich ableitbarer Maßnahmen gezeigt werden.

1. Methode der systematischen Schädigungsanalyse

Ausgehend von der Tatsache, daß nicht jede Frage nach dem Schädigungsverhalten einer Baugruppe, einer Paarung oder eines Einzelteils als Antwort eine Auskunft über quantifiziertes Nutzungsdauerverhalten in Abhängigkeit von bestimmten Einflußparametern erwartet, sondern vielfach Fragen nach zunächst überschaubareren Zusammenhängen anliegen, deren Antworten bereits erheblichen ökonomischen Gewinn versprechen, unterscheidet die Methode der systematischen Schädigungsanalyse [11, 12, 13] drei Stufen.

1. Ordnung

Analyse der einzelnen Schadteile und Schäden nach

- Schadenshäufigkeit je Schadstelle
- Schadensform und ihrer Häufigkeit

Im Ergebnis sind die maßgebenden Schadensformen und Schadstellen zu eliminieren.

2. Ordnung

Analyse der Schäden von maßgebendem Einfluß nach

- Schadensursache

– Wirkung der einzelnen Schäden auf andere Bauteile und die gesamte Baugruppe
Im Ergebnis ist eine qualitative Aussage über die Wechselwirkung zwischen primären Ein-

flußfaktoren und der infolge von technisch-physikalischen Schädigungsvorgängen (Verschleiß, Korrosion, Ermüdung, Überlastung, Alterung) hervorgerufenen schadhafte Veränderungen an Einzelteilen, Paarungsstellen und der gesamten Baugruppe zu treffen.

Die Wechselwirkung zwischen Schädigungsursache und Schaden läßt sich nach Blockbildart [14] anschaulich darstellen. Zu den primären Einflußfaktoren gehören:

- systembedingte Einflüsse
- unzulängliche Herstellung
- Betriebs- und Umwelteinflüsse.

Ein speziell entwickeltes Leitblatt [15] gibt Hilfestellung und Anleitung zum Auffinden und bildlichen Darstellen des Wirkungsmechanismus.

Aus dem Wirkungsmechanismus der Schädigung lassen sich unmittelbar ableiten:

- Kenngrößen, die eine quantifizierte Aussage über den Schädigungszustand bestimmter Paarungen oder der gesamten Baugruppe gestatten und die folglich bei entsprechender meßtechnischer Erfassbarkeit als Diagnoseparameter [11, 12] geeignet sind
- Maßnahmen zur gezielten Schadbekämpfung.

3. Ordnung

Quantifizierung der schädigungsbedingten Einflüsse und ihrer Auswirkungen, um im Endergebnis Aussagen über quantifizierte Schädigungsgrenzwerte und quantifiziertes Schädigungs-Nutzungsdauer-Verhalten, und zwar in Abhängigkeit von den einwirkenden Einflußgrößen, treffen zu können.

2. Kurbelgetriebe

Für eine ökonomische Instandsetzung von Verbrennungsmotoren ist entscheidend, ob sich der Zustand des Schubkurbelgetriebes demontagelos einschätzen läßt. Die zielgerichtete Entwicklung von hierfür geeigneten Diagnoseverfahren setzt schädigungsanalytische Kenntnisse über das Schädigungsverhalten dieser Baugruppe und damit vorwiegend der einer Abnutzung unterliegenden