

# Forderungen an die Konstruktion aus der Praxis der landtechnischen Instandhaltung

Prof. Dr. sc. techn. C. Eichler, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

## 1. Zur Problematik des Instandhaltungsgerechten Konstruierens

Aus der Sicht der Instandhaltung werden nachgenannte Problemkreise für die Realisierung der zuverlässigkeitsorientierten und instandhaltungsgerechten Konstruktion als besonders wichtig angesehen:

Eine vollständige, wissenschaftlich-technisch exakte Zuverlässigkeitsanalyse eines technischen Arbeitsmittels ist sehr zeit- und kostenaufwendig. Es ist noch ungeklärt, wie sich die das Zuverlässigkeitsverhalten eines technischen Arbeitsmittels beeinflussenden Faktoren quantitativ und qualitativ bedingen und auswirken. Hersteller, Nutzer und Instandhalter scheuen oft die Durchführung exakter und vollständiger Zuverlässigkeitsanalysen bzw. Zuverlässigkeitsnachweise. An deren Stelle werden hin und wieder zu kleine Stichproben ohne hinreichende Faktorenanalyse mit untauglichen Maßstäben für die Betriebsdauer (z. B. Kalenderzeit als Maßstab für intervallmäßig betriebene Dieselmotoren) angewendet.

Das Konstruieren eines gewünschten Zuverlässigkeitsverhaltens ist besonders bei verschleißbeanspruchten Elementen noch ein rekursiver, sehr auf Erfahrung aufbauender Prozeß.

Das einsatz- bzw. instandhaltungsseitig zu fordernde Zuverlässigkeits- bzw. Instandhaltungsverhalten eines technischen Arbeitsmittels wird in hohem Maß durch die Einsatzkonzeption (z. B. Verteilung der Kampagneleistungen, Instandhaltungsintervalle) und die Instandhaltungskonzeption (technische, organisatorische und ökonomische Bedingungen und Möglichkeiten des Instandhalters) bestimmt. Damit ist die Zusammenarbeit von Hersteller und Instandhalter zur Sicherung einer optimalen und realistischen zuverlässigkeitsorientierten sowie instandhaltungsgerechten Konstruktion eine ebenso wichtige Bedingung wie die Berücksichtigung der Tatsache, daß ein Hersteller im Zusammenhang mit den verschiedenen Absatzbereichen seiner Erzeugnisse oft mehrere, teilweise stark voneinander abweichende Instandhaltungskonzeptionen berücksichtigen muß.

Zuverlässigkeitstechnisch und instandhaltungstechnisch günstige Lösungen sind oft typspezifisch. Verallgemeinerungen führen zu trivialen Forderungen. Reales zuverlässigkeitsorientiertes und instandhaltungsgerechtes Konstruieren ist spezifische Detailarbeit, deren Einzelheiten kaum auf andere technische Arbeitsmittel übertragen werden können.

Die Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten der Maschineningenieure auf den Gebieten Zuverlässigkeit und Instandhaltung waren bisher vielerorts unzureichend. In der Aus- und Weiterbildung wurden diese Gebiete zwar hin und wieder in andere Disziplinen integriert, aber kaum in den notwendigen methodischen Zusammenhang gestellt.

Es wurden in der Vergangenheit die Gebrauchswerteigenschaften Zuverlässigkeit und Instandhaltungseignung eines neu ent-

wickelten technischen Arbeitsmittels nicht immer bei Preisfestlegungen ihrer Bedeutung entsprechend berücksichtigt.

Diese o. g. 6 Komplexe kennzeichnen das Problem nicht vollständig. Sie sollten aber beim Beurteilen des zuverlässigkeitsorientierten Konstruierens realistisch berücksichtigt werden, um einerseits übertriebene Forderungen zu vermeiden und andererseits die notwendigen Arbeitsgebiete für die weitere Verbesserung der Situation abzuleiten:

- Entwickeln von Methoden zum exakteren Konstruieren eines gewünschten Zuverlässigkeitsverhaltens in Verbindung mit Kurzzeitprüfungen des Zuverlässigkeitsverhaltens bei kleinen Stichproben (Ausgangspunkte sind Lebensdauerberechnungen auf der Basis realistischer Belastungsannahmen)
- Untersuchen der Einzelwirkung von Einflüssen auf die Schädigungsprozesse mit Hilfe der Faktorenanalyse, um den Erfahrungsschatz für die erstgenannte Maßnahme zu vergrößern
- Erhöhen des Niveaus in den zuverlässigkeitstechnischen und instandhaltungsseitigen Forderungen an neue technische Arbeitsmittel sowie Prüfung realisierter Konstruktionen
- Verbessern der Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Nutzer sowie Instandhalter zum Sichern eines qualifizierten Erfahrungsrückflusses
- Schaffen ökonomischer Anreize für Hersteller technischer Arbeitsmittel, das Zuverlässigkeitsverhalten und die Instandhaltungseignung ihrer Erzeugnisse im Sinne der Zielfunktion des Maschinenverhaltens zu verbessern (diese Forderung ist wegen der in der DDR nötigen längeren Nutzungsdauer von Maschinen bis zur Verschrottung besonders wichtig).

## 2. Einige spezielle Probleme der instandhaltungsgerechten Konstruktion

### 2.1. Pflege und Wartung

Geht man von den Pflegevorschriften der Hersteller aus, so sind für die Pflege und Wartung technischer Arbeitsmittel 5 bis 8 % der möglichen Arbeitszeit nötig. Der große Einfluß der Pflege auf die Ausnutzung der konstruktiv möglichen effektiven Lebensdauer von Elementen technischer Arbeitsmittel in der Größenordnung von 20 bis 40 % erfordert, der Pflegebarkeit technischer Arbeitsmittel große Aufmerksamkeit zu widmen. 65 bis 75 % des gesamten Pflegeaufwands verbrennungsmotorisch betriebener Fahrzeuge und Maschinen ist täglich bzw. in kleinen Intervallen zu erbringen. Diese Arbeiten werden oft den Maschinenbedienern überlassen. Es bestehen bei dezentral eingesetzten Maschinenparks nur bedingte Kontrollmöglichkeiten. Andere Pflegearbeiten, wie Ölwechsel, werden spezialisiert durchgeführt. Durch konstruktive Maßnahmen sollten die in kleinen Intervallen nötigen Pflegearbeiten von subjektiven Einflüssen hinsichtlich Qualität und Zeitpunkt der Durchführung weitge-

hend unabhängig gemacht werden. Das zentrale Problem aller Formen der Instandhaltung nach Überprüfungen ist die Überprüfung. Es gliedert sich in drei Teilprobleme:

- Feststellen des Schädigungszustands, möglichst demontagearm mit hoher Genauigkeit
- Vergleich des Schädigungszustands mit der Aussonderungsgrenze
- technisch-ökonomische Entscheidung über Notwendigkeit und Umfang der vorbeugenden Instandsetzung unter Berücksichtigung der in der nachfolgenden Nutzungsdauerperiode geforderten effektiven Betriebsdauer und Überlebenswahrscheinlichkeit (Restbetriebsdauerprognose).

Es ist ökonomisch und technisch kaum möglich – und auch nicht nötig! – diese drei Teilprobleme für alle Elemente eines technischen Arbeitsmittels zu lösen (Primärelemente sind ausreichend).

Das Problem der Überprüfung läßt von seiten des Instandhalters an den Hersteller umfassende Forderungen nach einer diagnosefreundlichen Konstruktion entstehen.

Die Schwierigkeit des Entwickelns von Diagnoseverfahren besteht darin, daß zwischen dem Strukturparameter/Funktionsparameter (z. B. Lagerspiel eines Gleitlagers) und dem demontagetraglos zu messenden Diagnoseparameter (z. B. Ölstrom, Öldruck) nur selten physikalisch determinierbare, von einer überschaubaren Anzahl von Einflüssen bestimmte Zusammenhänge bestehen. Oft ist die Anzahl der Einflußfaktoren so groß oder deren Wirkung in so hohem Maß unbekannt, daß der Zusammenhang zwischen Strukturparameter und Diagnoseparameter (Diagnosekennlinie) als stochastisch betrachtet werden muß. Daraus ergeben sich für demontagetragbare Diagnoseverfahren einige bedeutende Restriktionen:

- Oft müssen mehrere Diagnoseparameter (Diagnoseverfahren) für die hinreichende Diagnose eines Strukturparameters eingesetzt werden.
- Die Diagnoseverfahren und die dazu erforderlichen Geräte werden schnell kompliziert und kostenaufwendig.
- Für viele Elemente und Baugruppen können noch keine praktikablen Diagnoseverfahren zur Verfügung gestellt werden.

Daraus ergeben sich für eine praktisch realisierbare diagnosegerechte Konstruktion folgende Grundsätze:

- In sich geschlossene Nutzerbereiche (z. B. Landwirtschaft, Kraftverkehr, NVA) müssen sich für längere Perioden auf bestimmte Diagnoseverfahren und -geräte festlegen und daraus konkrete, realisierbare Forderungen an die Hersteller bzw. Importeure ableiten. Der Hersteller bzw. Importeur muß sich auf diese Forderungen einstellen.
- Die begrenzten Möglichkeiten zum Entwickeln von Diagnoseverfahren geben zu der Forderung Veranlassung, daß technische Arbeitsmittel, wenn möglich, so konstruiert werden sollten, daß von einem

diagnostizierbaren Element möglichst viele andere Elemente hinsichtlich ihres Schädigungsverhaltens abhängig sind (gleiches oder zumindest proportionales Schädigungsverhalten). Damit würde der Aufwand für die Überprüfungen wesentlich reduziert. Es sei darauf hingewiesen, daß diese geforderte Abhängigkeit des Schädigungsverhaltens von Elementen eines technischen Arbeitsmittels untereinander auch für andere Probleme, beispielsweise bei Grundüberholungen, bei der Auswahl der optimalen Instandhaltungsmethode, für die Effektivität komplexer Instandhaltungsmethoden u. a. m. Bedeutung hat.

- Wenn Diagnoseverfahren zu große Diagnosefehler haben bzw. zu hohem Aufwand erfordern, sollten die Elemente so konstruiert bzw. hergestellt werden, daß, konstruktiv vorgegeben, ein möglichst kleiner Variationskoeffizient des Schädigungsverhaltens erreicht wird. Es könnte dann von einer unsicheren Instandhaltung nach Überprüfungen auf eine sichere Instandhaltung nach starrem Zyklus übergegangen werden.
- Die Schadensgrenze oder die Aussonderungsgrenze sind wegen der großen Bedeutung in der Instandhaltung nach Überprüfungen und wegen der Möglichkeit des Optimierens von Instandhaltungsvorschriften eine für jedes Abnutzungsteil notwendige Angabe.

Für die Landwirtschaft der DDR wird das Diagnosegerätesystem DS 1000 für längere Zeit Bedeutung haben. Alle Hersteller von Dieselmotoren und Hydraulikanlagen für die Landwirtschaft sollten sich deshalb sehr schnell auf dieses Gerätesystem einstellen.

Für Fahrzeuggetriebe wird in naher Zukunft kein praktikables Diagnoseverfahren zur Verfügung stehen. Es sollte auf eine möglichst exakte Berechnung der effektiven Lebensdauer, auf das weitestgehende Ausschalten des Einflusses unterschiedlicher Betriebsbedingungen und auf ein weitestgehend gleiches Schädigungsverhalten aller Elemente dieser Baugruppen Wert gelegt werden. Wenn das nicht erreichbar ist, müssen Schauöffnungen u. ä. eine visuelle Kontrolle ermöglichen. Die Demontage von Getrieben allein für die Überprüfung muß vermieden werden.

## 2.2. Instandsetzung

Bei vielen Be- und Verarbeitungsmaschinen, die unter wechselnden Bedingungen eingesetzt sind (Bodenbearbeitungs- und Erntemaschinen), wird ein großer Teil des Instandsetzungsaufwands durch echte Zufallsausfälle hervorgerufen. Solche technischen Arbeitsmittel arbeiten in der Praxis mit mittleren Ausfallabständen von 10 bis 30 Betriebsstunden. Das erfordert zur Sicherung einer hohen Verfügbarkeit einen hohen Aufwand für die operative Betreuung. Die Bedeutung dieses Problems sei an einem Beispiel aus der Landtechnik exemplarisch dargestellt. Für die vorhandenen rd. 15 000 Mähdrescher sind während der Getreideernte etwa 5 000 Arbeitskräfte für die operative Instandsetzung nötig. Das ist gerade die Hälfte der zu dieser Zeit in der Landwirtschaft der DDR fehlenden Mechanisatoren. Wenn es gelingt, die mittleren Ausfallabstände der Mähdrescher (das gilt prinzipiell auch für andere Landmaschinen und ist ein internationales Problem) zu verdoppeln, so würden rd. 2 500

Arbeitskräfte freigesetzt werden. Es ist deshalb ein volkswirtschaftliches Anliegen, technische Arbeitsmittel und ihren Einsatz auf der Basis echter Zufallsausfälle zu analysieren und diese durch Zuverlässigkeitsarbeit weitgehend zu vermeiden. Im Zusammenhang mit dieser Forderung ist die Problematik des Masse-Leistungs-Verhältnisses mobiler Maschinen, die der Maximierung der Zuverlässigkeit entgegensteht, zu beachten. Analysen haben ergeben, daß bei Abnutzungsteilen mit Zufallsausfällen das Vergrößern des Ausfallabstands wichtiger ist als das Erreichen einer einfachen und schnellen Instandsetzbarkeit.

Ein anderes Problem ist die Instandsetzbarkeit der Einzelteile. Durch richtiges Instandsetzen von Einzelteilen können gegenüber dem ausschließlichen Verwenden von Neuersatzteilen 70 bis 90 % Energie, bis zu 40 % lebendige Arbeit und bis zu 70 % Kosten (alles jeweils über der Konstruktionsnutzungsdauer betrachtet) eingespart werden. Der Anteil des Verwendens instandgesetzter Einzelteile wird steigen. Es kann damit gerechnet werden, daß rd. 50 % des Gesamtersatzteilbedarfs über die Einzelteilinstandsetzung gedeckt werden müssen.

Im Instandhaltungswesen ist eine breite Palette guter Instandsetzungsverfahren vorhanden. Es ist in der industriellen Einzelteilinstandsetzung ein hohes Produktionsniveau erreicht worden. Bei der Konstruktion muß die spätere Instandsetzbarkeit des Einzelteils berücksichtigt werden. Wenn dies technisch-ökonomisch möglich ist, sind nach dem Vorbild der Landmaschinenindustrie der DDR als Grundlage für die Instandsetzungstechnologie sog. Instandsetzungshinweise zu erarbeiten und dem Nutzer rechtzeitig zur Verfügung zu stellen. Bei der geplanten Ausweitung der Einzelteilinstandsetzung muß vom Konstrukteur wegen möglicher vorhandener Vorschädigung (Ermüdung) der Einzelteile die begrenzte Wiederholbarkeit der Instandsetzung geprüft und eine Anzahl zulässiger Instandsetzungen festgelegt werden. Qualitätsmängel in der Instandsetzung (Vergrößerung der Schädigungsgeschwindigkeit instandgesetzter Objekte gegenüber fabrikanneuen Objekten) werden gegenwärtig oft dadurch hervorgerufen, daß Wellensysteme u. ä. nach der Instandsetzung nicht die erforderliche Fluchtungsgenauigkeit aufweisen. Der Konstrukteur kann zur Vermeidung dieses Problems durch bestimmte Maßnahmen beitragen, indem entsprechende Meßmittel oder Dokumentationen übergeben werden.

Auch wenn die Verbesserung der Instandsetzungsqualität, die schädigungsgerechte Instandsetzung und das Instandsetzen von Einzelteilen z. Z. besonders wichtige Arbeitsrichtungen in der Instandhaltungstechnik sind, so verliert die Arbeitsproduktivität und die Ergonomie in der Instandsetzung nicht an Bedeutung. In der praktischen Instandhaltung existieren sehr unterschiedliche Arbeitsbedingungen, die sich aus den Seriengrößen, den Instandsetzungsarten u. a. m. ergeben. Während in der operativen Instandsetzung handwerklich, teilweise unter direktem Einfluß der Witterung, gearbeitet werden muß, kommen bei der vorbeugenden Instandsetzung kompletter Maschinen Seriengrößen bis zu 500 Stück je Jahr in spezialisierten Instandsetzungseinheiten vor. Bei der Grundüberholung von Baugruppen gibt es Seriengrößen bis zu 30 000 Stück je Jahr

(ebenso bei der Einzelteilinstandsetzung). Von einfachen Universalwerkzeugen bis zu Industrierobotern werden viele verschiedenartige Fertigungsmittel eingesetzt. Der Konstrukteur muß diese typspezifisch berücksichtigen. Er braucht Informationen über die vom Nutzer vorgesehene Instandsetzungstechnologie, oder er muß dem Instandsetzer rechtzeitig vor Serienanlauf Hinweise und Vorschläge über zweckmäßige Fertigungsmittel im Instandsetzungsprozeß übergeben.

## 2.3. Optimale Instandsetzungsmethode

Der ökonomische Maschineneinsatz erfordert die komplexe Optimierung von Konstruktion, Fertigung, Einsatz und Instandhaltung. Dazu gehört auch die Auswahl der zweckmäßigen Instandhaltungsmethode. Dieses Problem hat vielfältige Beziehungen zur Konstruktion. Es sind viele gute Arbeiten zu dieser Thematik bekannt. Thesenartig sei auf einige besonders wichtige Aspekte hingewiesen:

- Ein technisches Arbeitsmittel besteht aus mehreren tausend Elementen. Es ist unmöglich, für jedes dieser Elemente die Optimierung vorzunehmen und die spezifische optimale Instandhaltungsvorschrift zu erarbeiten. Es sollten sog. Primärelemente vorgesehen werden, von denen das Schädigungsverhalten anderer Elemente abhängt, deren „Montagetiefe“ die gleichzeitige Instandsetzung anderer Elemente zweckmäßig macht, die diagnostizierbar sind.
- Die volkswirtschaftlich notwendige längere Betriebsdauer technischer Arbeitsmittel bis zur Verschrottung erfordert mehr Aufmerksamkeit für die Betriebsfestigkeit. Strukturbestimmende und materialintensive Teile müssen als Dauerteile ausgelegt werden, an denen keine echten Zufallsausfälle auftreten sollten.
- Da die Streubreite der Schädigungsgeschwindigkeit die Planung aller Instandhaltungsprozesse schwieriger und aufwendiger macht sowie den Algorithmus der Instandhaltungsmethoden kompliziert, sollte – sofern technisch möglich – auch von der konstruktiven Seite her ein kleiner Variationskoeffizient angestrebt werden. Dabei hat neben den ökonomisch kleinsten Fertigungstoleranzen besonders das Ausschalten der Wirkung variiender äußerer Einflüsse Bedeutung.
- Das bereits o. g. Vermeiden von Zufallsausfällen hat auch in dem hier behandelten Zusammenhang große Bedeutung.

Insgesamt kann zum Problem des Einflusses der instandhaltungsgerechten Konstruktion auf die Optimierung der Instandhaltungsmethode festgestellt werden, daß es sich dabei um sehr differenziert wirkende Einflüsse handelt, die komplex zu berücksichtigen sind.

## 3. Zusammenfassung

Der reale wissenschaftlich-technische Fortschritt kann heute nur z. T. über spektakuläre Erfindungen erarbeitet werden. Ein großer Teil wird über ingenieurtechnische Detailarbeit in Funktion, Zuverlässigkeit, Effektivität, Ergonomie u. a. m. durch viele kleine Maßnahmen bestimmt. Dieser Frage muß sich der Konstrukteur in der Zusammenarbeit mit dem Instandhalter stellen.

A 3914