

# Instandhaltungsgerechte Konstruktion von Maschinen

Prof. Dr. sc. techn. G. Ihle, KDT

## 1. Bedeutung der Instandhaltungsgerechten Konstruktion

Als Instandhaltung wird „die Gesamtheit aller Maßnahmen zum Erhalten und Wiederherstellen der Gebrauchseigenschaften von Anlagen, Maschinen, Baugruppen und Einzelteilen“ [1] verstanden.

Herstellung und Instandhaltung sind zwei Seiten eines einheitlichen Prozesses, der die Voraussetzungen für eine rationelle Nutzung von Maschinen und Anlagen schaffen muß. Die vom IX. Parteitag der SED geforderte höhere Auslastung der Grundmittel sowie Verringerung des spezifischen Material- und Energieeinsatzes verlangt eine enge Zusammenarbeit von Hersteller und Instandhalter. Was nützt eine Materialeinsparung im Fertigungsprozeß eines Maschinenbauerzeugnisses, wenn daraus höhere Materialaufwendungen in der Instandhaltung entstehen? Unökonomisch kann es auch sein, allein durch einen sehr hohen Materialaufwand in der neuen Maschine die notwendige Störungsfreiheit im Einsatz abzusichern, ohne die rationalen Möglichkeiten der Instandhaltung, wie Baugruppenaustausch, Einzelteilinstandsetzung usw., zu berücksichtigen.

Das gegenwärtige Gewicht der Instandhaltung in der Volkswirtschaft ist beträchtlich: Während im Jahr 1965 zur Instandhaltungstechnischen Erhaltung des Arbeitsplatzes eines Berufstätigen durchschnittlich 1850 Mark ausgegeben worden sind, stieg dieser Aufwand im Jahr 1975, umgerechnet auf vergleichbare Preise, auf 2850 Mark.

Im gleichen Zeitraum wuchs in der Industrie die Anzahl der Arbeiter und Angestellten auf 116 %, die Anzahl der in der Instandhaltung Beschäftigten aber auf 134 %. Die Arbeitsproduktivität erhöhte sich in der Industrie insgesamt auf 170 %, in der Instandhaltung aber nur auf 120 %, unter der Bedingung, daß das Grundfondsvolumen ungefähr die gleiche Steigerungsrate (175 %) wie die Instandhaltungskosten hatte [2].

Eine weitere Ausdehnung der Instandhaltung proportional zu der in den nächsten Jahren zu erwartenden Erweiterung der Grundfonds ist nicht vertretbar. Das optimale Gewicht der Instandhaltung liegt tiefer. Für den Bereich der landtechnischen Arbeitsmittel gilt, daß die notwendige Verringerung des Anteils der Instandhaltung zu 60 bis 70 % durch gezielte Maßnahmen im Bereich des Herstellers von Maschinen sowie des Projektanten von Anlagen und 30 bis 40 % durch Rationalisierung im Bereich der Instandhaltung selbst verwirklicht werden muß.

## 2. Perspektivische Entwicklungstendenzen der Instandhaltung von Maschinen und Anlagen

Voraussetzung für eine optimale Instandhaltungseignung ist die wissenschaftliche Durchdringung der Vorbereitung und der Durchführung der Instandhaltungsprozesse auf der Basis der Zusammenarbeit von Herstellern und Instandhaltern konkret für jedes Erzeugnis. Schon heute müssen die Konstrukteure in diesem Prozeß von den perspektivischen Entwicklungstendenzen im Instandhaltungswesen ausgehen.

Die Bedeutung der *Pflege und Wartung* nimmt zu, da sie einen aktiven Beitrag zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Erzeugnisse bei geringem Aufwand leistet. Durchgeführt durch qualifizierte Spezialisten, erfüllt sie gleichzeitig wichtige Aufgaben der Überwachung des Maschinenzustands und trägt deshalb wesentlich zur Erhöhung der Planmäßigkeit der Instandsetzung bei.

Eine generelle Einschränkung der Instandsetzung von Maschinen und Anlagen wird auch im Prognosezeitraum nicht möglich sein. Ein weitgehender Verzicht auf planmäßige Instandsetzungen in der projektierten Nutzungsdauer der Maschine durch Verkürzen der projektierten Nutzungsdauer würde zu einem Verschwenken von 70 bis 80 % des in Forschung, Entwicklung und Fertigung der Maschine investierten Aufwands an lebendiger und vergegenständlichter Arbeit führen.

Eine wachsende Bedeutung erhält bei allen Maschinen der *sofortige Austausch von geschädigten Baugruppen und Einzelteilen* durch neue oder instand gesetzte, sowohl bei der Schadensbehebung als auch bei planmäßigen Instandsetzungen der Maschinen. Es sind die konstruktiven, organisatorischen und technologischen Voraussetzungen zu schaffen, daß nicht unter 90 bis 95 % des Instandsetzungsbedarfs von Maschinen und Anlagen durch diese rationelle Methode gedeckt werden können.

In diesem Zusammenhang erhöht sich die Rolle der *Technischen Diagnostik*. Ihre technische und ökonomische Wirksamkeit muß aber realistisch eingeschätzt werden. In den nächsten Jahren stehen Diagnosegeräte zur Verfügung, die einzelne Seiten des Zustands von Maschinen bewerten und die, eingesetzt von erfahrenen Fachleuten, die Wirtschaftlichkeit der Instandsetzung wesentlich verbessern. Ein genereller Übergang zu Diagnosesystemen, die automatisch eine Gesamtbewertung des Zustands ganzer Maschinen und Anlagen ausführen und auch Elemente der technologischen und organisatorischen Vorbereitung der Instandsetzung lösen, ist aber noch nicht zu erwarten.

*Grundinstandsetzungen* von Maschinen und Anlagen beinhalten eine vollständige Demontage mit verhältnismäßig festem Instandsetzungsumfang. Diese Instandsetzungsform wird beträchtliche Verschiebungen erfahren. Sie behält ihre Bedeutung für

— Objekte, deren wichtigste Elemente sich verhältnismäßig gleichmäßig abnutzen

— Objekte, insbesondere Anlagen, an deren Verfügbarkeit und Störungsfreiheit in größeren zusammenhängenden Zeiträumen sehr hohe Anforderungen gestellt werden.

Für die meisten mobilen Maschinen sollten aber an ihre Stelle umfassende Schadensaufnahmen, in Zukunft verstärkt demontagelos, mit Instandsetzungen entsprechend dem realen Schädigungszustand treten. Voraussetzung dafür ist das konsequente Anwenden von Austauschbaugruppen.

Die *vorbeugende Instandsetzung* in ihren verschiedenen Formen wird die Beseitigung plötzlich eingetretener Schäden weitgehend verdrängen. Sie kann wahrscheinlich aber nur

80 bis 95 % des Gesamtinstandsetzungsbedarfs abdecken. 5 bis 15 % Anteil an Havarieinstandsetzungen sind auch in Zukunft zu erwarten, da — auch ein wissenschaftlich begründetes System der planmäßig vorbeugenden Instandhaltung die Havariegefahr nicht völlig beseitigt

— sie für leicht austauschbare Maschinenelemente die wirtschaftlichste Form sein können.

Die *Grundinstandsetzung der ausgetauschten Baugruppen* ermöglicht eine Konzentration und Spezialisierung in Instandsetzungsbetrieben von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung. Ihre konsequente Anwendung schafft in Verbindung mit hohen Qualitätsmaßstäben die Grundlage dafür, daß in Zukunft mit einer Grenznutzungsdauer grundüberholter Baugruppen von 80 bis 85 % der Grenznutzungsdauer neuer Baugruppen bei Kosten von 20 bis 40 % des Neufertigungsaufwands gerechnet werden kann. Die Instandsetzung von Abnutzungsanteilen ist eine objektive Notwendigkeit. Sowjetische Experten [3] schätzen ein, daß 65 bis 75 % aller Einzelteile instandsetzungswürdig sind. Bei einer durchschnittlichen Grenznutzungsdauer von 80 bis 100 %, bezogen auf Neuteile, liegen die Instandsetzungskosten meist weit unterhalb von 75 % des Neupreises bei 15- bis 20mal geringerem Materialeinsatz. Der Investitionsaufwand für Instandsetzungskapazitäten von Einzelteilen ist 5- bis 10mal geringer als der für die Neuersatzteilproduktion. Die Instandsetzung von Einzelteilen wird in Zukunft einen beträchtlichen Teil des Ersatzteilbedarfs decken müssen. Für den Bereich der landtechnischen Arbeitsmittel ist für 1980 schon ein Umfang von rd. 50 % geplant.

## 3. Instandhaltungseignung als Bestandteil der Zuverlässigkeitsanforderungen

Kostenoptimale Zuverlässigkeitseigenschaften von Maschinen setzen ein bewußtes Ausnutzen der wirtschaftlichen Möglichkeiten der planmäßig vorbeugenden Instandhaltung voraus. Der Landmaschinenbau der DDR war schon in den 60er Jahren mit dieser Forderung konfrontiert. Es entstand der Standard TGL 20987 „Landtechnische Arbeitsmittel — Instandhaltungsgerechte Konstruktion“:

01: Abnutzungs- und instandhaltungsgerechtes Konstruieren

02: Richtwerte für die Instandhaltungseignung

03: Grundsätze der Vorgabe und Bewertung der Instandhaltungseignung.

Er untersetzt die Forderungen nach Standard TGL 26096 „Zuverlässigkeit in der Technik“ auf die Besonderheiten des Landmaschinenbaus in praktisch realisierbarer Form. Eine Maschine mit günstiger Instandhaltungseignung muß folgende Merkmale aufweisen:

*Die Instandhaltungsmaßnahmen dürfen den Produktionsprozeß nur möglichst wenig beeinflussen.* Durch sinnvolles Ausnutzen des funktionellen Wirkprinzips, der Betriebsbedingungen sowie der zur Verfügung stehenden Werkstoffe in Menge und Qualität sind maximale Kennwerte der Langlebigkeit zu erreichen. Aus dieser Sicht müssen Instandsetzungen durch konstruktive Maßnahmen weitgehend vermieden werden. Es

gilt aber auch, alle nicht vermeidbaren Instandsetzungsmaßnahmen in hohem Maß planbar zu gestalten. Hierzu dient sowohl das Ausnutzen der Möglichkeiten der Technischen Diagnostik zum rechtzeitigen Erkennen eines sich anbahnenden Ausfalls als auch das Abstimmen der konstruktiven Zuverlässigkeit von Einzelteilen und Baugruppen auf geplante Instandhaltungsintervalle.

Schon während des Entwicklungsprozesses einer neuen Maschine liegen Vorstellungen über gewünschte Intervalle für die planmäßig vorbeugenden Instandsetzungen vor, wie Kampagnefestinstandsetzung, Jahresinstandsetzung und Grundinstandsetzung. Der Finalproduzent erreicht einen hohen Grad der Ausfallfreiheit seines Erzeugnisses, wenn eine hohe Überlebenswahrscheinlichkeit der Einzelteile und Baugruppen im Instandhaltungsintervall der Maschine gewährleistet ist. Aus dieser Sicht lassen sich auch begründete Forderungen an die Zuverlässigkeitskennwerte von neuen Zulieferteilen ableiten.

*Die konstruktive Gestaltung des Erzeugnisses muß ein Anwenden industriemäßiger Technologien der Pflege, Überprüfung und Instandsetzung sichern.*

Hierbei geht es um den Beitrag des Konstrukteurs für eine hohe Arbeitsproduktivität und optimale Arbeitsbedingungen für die Werkstätten im Instandhaltungsprozess. Alle Instandhaltungsmaßnahmen müssen möglichst einfach, sicher, schnell unter Anwenden zweckmäßiger Mechanisierungs-, Prüf- und Meßmittel bei hoher Wirtschaftlichkeit und Qualität durchführbar sein.

Folgende Grundsätze für die Arbeit des Konstrukteurs gehören dazu:

- Verringern des notwendigen Zeitaufwands für geplante Instandhaltungsarbeiten durch konstruktive Maßnahmen
- Sichern einer guten Zugänglichkeit und des Arbeitsschutzes für Instandhaltungsarbeiten
- Gestalten zweckmäßiger Anschlußmöglichkeiten für Mechanisierungs-, Prüf- und Meßmittel
- planmäßiges Gestalten von Austauschbaugruppen, die sich für eine spezialisierte Instandsetzung in großen Serien eignen u. a.

*Durch eine optimale Eignung für eine industriemäßige Instandsetzung der Abnutzungsteile und Austauschbaugruppen sind Voraussetzungen für eine umfassende Ökonomie im Material- und Energieeinsatz zu schaffen.*

Diese Forderung ist als getrenntes Merkmal der Instandhaltungsseignung formuliert, weil sich entsprechende Anforderungen nicht immer anhand eines einzelnen Erzeugnisses entwickeln lassen. Das in Zukunft nachzuweisende Niveau der Material- und Energieökonomie im Maschinenbau wird wesentlich durch gesamtwirtschaftliche Entwicklungstendenzen bestimmt. Hierzu gehört z. B. das Berücksichtigen der späteren Instandsetzung des Einzelteils bei der Werkstoffauswahl hinsichtlich der Schweißbarkeit des Materials oder bei der Betriebsfestigkeitsberechnung hinsichtlich längerer Betriebsdauer und des möglichen Übergangs in die Bedingungen der Zeitfestigkeit.

#### 4. Organisatorische Voraussetzungen für die Gestaltung einer günstigen Instandhaltungsseignung

Um eine günstige Instandhaltungsseignung gewährleisten zu können, muß die Instandhaltung des späteren Erzeugnisses schon im Entwicklungsprozess in den Eckpunkten projiziert werden. Das planmäßige Gestalten einer optimalen Zuverlässigkeit und Instandhaltungsseignung von Maschinenbauerzeugnissen besteht aus einem umfangreichen System von Maßnahmen in allen Phasen der Forschung, Projektierung, Entwicklung und Fertigung. Ausgangspunkt bildet ein *Entwicklungsprogramm zur Zuverlässigkeit und Instandhaltungsseignung*. Hierzu gehören Vorgaben für projektierte Nutzungsdauer und wichtige Instandhaltungsintervalle sowie Instandhaltungskostengrößen.

Vorgaben in dieser Phase müssen folgenden Anforderungen entsprechen:

- Sie müssen sich im geplanten Abrechnungszeitraum für die erreichte Instandhaltungsseignung (z. B. 2 Jahre nach Beginn der Serienproduktion) ausreichend genau nachweisen oder nach einer vorgegebenen Methodik prognostizieren lassen.
- Sie müssen die spätere Nachweismethode berücksichtigen. Vorgaben zum Ausfallabstand sind z. B. Festlegungen zur Definition des Zustands „Ausfall“ zugrunde zu legen.
- Sie müssen als Grundlage für die Projektierung der Instandhaltung verwendbar sein.

Voraussetzung für ein wissenschaftlich begründetes Entwicklungsprogramm ist eine systematische Auswertung des Zuverlässigkeits- und Instandhaltungsverhaltens der Serienerzeugnisse und eine planmäßige Bearbeitung der Zuverlässigkeit und Instandhaltung in angemessenem Umfang schon in der ergebnisspezifischen Forschung.

Mit dem *Ableiten von Anforderungen an Einzelteile und Baugruppen* aus Vorgaben an die Maschine beginnt der eigentliche Gestaltungsprozess.

Allen wichtigen Einzelteilen und Baugruppen sind Vorgaben an die Überlebenswahrscheinlichkeiten in den Instandhaltungsintervallen zuzuordnen, die die o. g. Forderung an die Maschine gewährleisten. Diese Arbeitsetappe sollten Spezialisten, z. B. Ingenieure für instandhaltungsgerechte Konstruktion, realisieren.

Um *zuverlässigkeits- und instandhaltungsgerecht konstruieren* zu können, benötigt der Konstrukteur entsprechende Berechnungsverfahren, Dimensionierungs- und Gestaltungsrichtlinien. Exakte Berechnungsverfahren für Zuverlässigkeitseigenschaften von Einzelteilen liegen z. Z. mit Ausnahme der Wälzlagerberechnungen kaum vor. Deshalb gewinnen Dimensionierungsvorschriften und Gestaltungsrichtlinien auf der Basis der systematischen Auswertung des Zuverlässigkeits- und Instandhaltungsverhaltens sich bewährender Konstruktionen an Bedeutung. Solche Unterlagen müssen planmäßig zusammengestellt und anwendungsbereit dem Konstrukteur übergeben werden. Der erste Entwurf eines diesbezüglichen Katalogs „Instandhaltungsgerechtes Konstruieren landtechnischer Arbeitsmit-

tel“ [4] wurde im Jahr 1977 zur Diskussion gestellt.

Infolge des Fehlens exakter Berechnungsverfahren nimmt das systematische Bewerten der Zuverlässigkeit und Instandhaltungsseignung anhand von Versuchsmustern, Nullserienmaschinen und Serienmaschinen einen entscheidenden Platz ein. Zuverlässigkeits- und Instandhaltungserprobungen verlangen den Einsatz erfahrener Spezialisten. Auch zukünftige Instandsetzer des neuen Erzeugnisses sollten frühzeitig in die Bewertung einbezogen werden.

Die Bewertung der Instandhaltungsseignung kann mit dem Schätzen der Überlebenswahrscheinlichkeit der Einzelteile und Baugruppen nach der Zeichnung durch den Konstrukteur beginnen. Es läßt sich über die Aussagekraft derartiger Schätzungen streiten, aber sie zwingen den Konstrukteur, in allen Phasen seiner Arbeit die Probleme der Instandhaltungsseignung zu beachten.

Einige Kriterien der Instandhaltungsseignung, wie Demontierbarkeit und Zugänglichkeit, lassen sich im Montageprozeß der Muster bewerten. Für den Landmaschinenbau ist diese Möglichkeit insofern von großer Bedeutung, weil im allgemeinen nur diese Ergebnisse direkt in die nächste Mustergeneration eingehen können. Prüfstandversuche bestimmter Baugruppen oder des gesamten Erzeugnisses, Auswertung des Zuverlässigkeits- und Instandhaltungsverhaltens der Muster in Einsatzerprobungen und spezielle Probeinstandhaltungen der Muster führen zu den wichtigsten Informationen.

Aus den Erprobungsergebnissen sind die im Entwicklungsprogramm enthaltenen *Kennwerte der Maschine im praktischen Einsatz* zu schätzen bzw. zu prognostizieren. Dazu gehören die Verfügbarkeit, die Verbrauchskennzahlen für Ersatzteile, die Instandhaltungskosten u. a. Auf ihrer Basis lassen sich Schlußfolgerungen für die Präzisierung des Entwicklungsprogramms, wenn die Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist, und für die Instandhaltungsdokumentation ableiten.

#### Literatur

- [1] TGL 33384 Instandhaltung; Grundbegriffe. Entwurf: November 1975.
- [2] Ihle, G.; Kubein, J.; Marx, D.: Zum Problem der Zuverlässigkeit und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen. *Wiss. Zeitschrift der TU Dresden* 26 (1977) H. 3/4, S. 757—763.
- [3] Nawasardjan, G. G.: Vervollkommnung der Organisation und Technologie der Aufarbeitung verschlissener Einzelteile in der Landwirtschaft der UdSSR. Vortrag auf dem RGW-Symposium „Vervollkommnung der Organisationsmethoden der Instandsetzung und technischen Betreuung des Maschinen-Traktoren-Parkes“. Moskau 1975.
- [4] Ihle, G.; Rößner, K.: Katalog „Instandhaltungsgerechtes Konstruieren landtechnischer Arbeitsmittel“. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Forschungsbericht 1977.

A 2080