

# Verschleißmessung an landtechnischen Arbeitsmitteln mit Hilfe von radioaktiven Isotopen

Dipl.-Ing. K. Korb, KDT, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Dieselmotorenwerk Schönebeck

## 1. Einleitung

Mit zunehmender Industrialisierung nimmt auch die Anzahl moderner technischer Arbeitsmittel in der sozialistischen Landwirtschaft zu. Gleichzeitig steigt das Leistungsvermögen je Maschineneinheit progressiv an. Das verbessert die Ökonomie großer Landwirtschaftsbetriebe, bedeutet aber auch höhere Beanspruchung der Baugruppen und Einzelteile der Maschine. Damit steigen die Anforderungen an die Instandhaltung und Instandsetzung.

Die Verluste, die jährlich in der gesamten Volkswirtschaft durch Verschleiß entstehen, werden in Milliarden Mark gemessen [1]. Der Anteil der Landtechnik an diesen Verlusten ist zahlenmäßig nicht bekannt. Klar ist jedoch, daß er ständig ansteigt, denn die Technisierung nimmt in der Landwirtschaft infolge des großen Nachholebedarfs schneller zu als in den meisten anderen Industriezweigen. Daran ist zu erkennen, welche große Bedeutung die Senkung der Verschleißverluste hat.

Die Aufgabe der Verschleißforschung mit dem Ziel der Einführung ständig neuer verschleißmindernder Maßnahmen hat zwei wesentliche Aspekte:

- Verringerung der Wahrscheinlichkeit von verschleißbedingten Ausfällen während der Haupteinsatzzeiten, d.h. Erhöhung der Verfügbarkeit der Maschineneinheit
- Verringerung des Instandsetzungsaufwands während der Winterinstandsetzungen durch Erhöhung der Nutzungsdauer der am höchsten beanspruchten Baugruppen und Einzelteile.

Verschleißmindernde Maßnahmen dürfen nicht nur in Neuentwicklungen einfließen, sondern müssen auch zur ständigen Qualitätsverbesserung serienmäßig produzierter Arbeitsmittel führen. Vom Entwicklungsingenieur wird berechtigterweise gefordert, die Verschleißintensität hochbeanspruchter Bauteile zu bestimmen und die Wirksamkeit verschleißmindernder Maßnahmen eindeutig nachzuweisen. Der Nachweis soll in kürzester Zeit erfolgen, um die Maßnahme möglichst schnell produktionswirksam werden zu lassen. Daraus ergibt sich die Forderung nach einer geeigneten Meßmethode.

## 2. Beschreibung der Meßmethode

Die einfachste Methode der Verschleißermittlung ist eine Längenmessung oder Wägung der Verschleißteile vor und nach der Einsatzkampagne. Die ungenügende Nachweisempfindlichkeit der Längen- bzw. Massemessung erfordert jedoch eine lange Betriebsdauer, bei Erntemaschinen u. U. über mehrere Kampagnen hinweg, wodurch diese Art der Verschleißmessung unökonomisch wird.

Für schnelle Verschleißmessungen an hochbeanspruchten Einzelteilen werden zunehmend radioaktive Isotope als Indikator für den Abrieb genutzt. Auf die Möglichkeit der Verschleißmessung mit radioaktiven Isotopen hat Ferris bereits 1941 aufmerksam gemacht [2]. In den letzten zwei Jahrzehnten wurde die Methode eingehend untersucht und anwendungsreif gestaltet, woran sowjetische Wissenschaftler einen entscheidenden Anteil haben. In der

DDR werden seit dem Jahr 1960 Radioisotope für die Verschleißmessung genutzt [3].

Das Verfahren beruht darauf, daß das zu untersuchende Bauteil im Atomreaktor oder an einem Teilchenbeschleuniger mit Kernbausteinen beschossen wird, wodurch ein geringer Teil der Atome des Ausgangsmaterials in instabile (radioaktive) Isotope des gleichen oder eines im periodischen System naheliegenden Elements umgewandelt wird. Bestrahlt man beispielsweise Eisen (Ordnungszahl 26) mit  $\alpha$ -Teilchen — das sind Atomkerne des Heliums —, kommt es im Bereich der Eindringtiefe dieser Teilchen zu Kernumwandlungen. Es entstehen radioaktive Isotope des Kobalts (Ordnungszahl 27) und des Mangans (Ordnungszahl 25). Die im einzelnen ablaufenden kernphysikalischen Vorgänge sowie die sich daraus ergebenden speziellen Meßvorschriften können nicht Gegenstand dieses Beitrags sein.

Sie sind in der Literatur umfassend beschrieben worden [4 bis 12]. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß sich durch die Bestrahlung die physikalischen und chemischen Eigenschaften metallischer Stoffe nicht ändern.

Wird das aktivierte Bauteil in eine Maschine eingebaut und beansprucht, kann die radioaktive Strahlung für die Verschleißmessung genutzt werden. Eine Übersicht über die für die Verschleißmessung angewendeten Aktivierungs- und Meßmethoden ist im Bild 1 dargestellt. Beim *Durchflußmeßverfahren* wird der radioaktive Abrieb durch eine Trägerflüssigkeit abgeführt und an einer Meßsonde vorbeigeleitet. Es wird vorwiegend bei geschlossenen Aggregaten (Motoren, Getriebe, Hydraulikpumpen u. a.) angewendet. Die Messung erfolgt demontagelos, kontinuierlich und mit hoher Genauigkeit, allerdings ist eine relativ hohe Aktivität des Verschleißteils erforderlich. Das *Durchflußmeßverfahren* ist nur in speziell

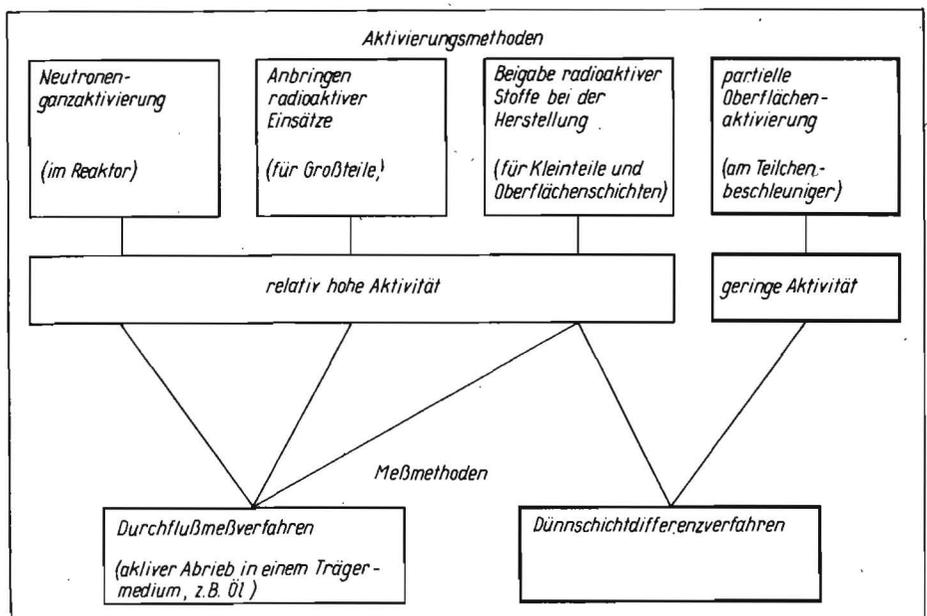
ingerichteten Isotopenlabors durchführbar.

Für Betriebe, die nicht über ein Isotopenlabor verfügen, bietet sich das *Dünnschichtdifferenzverfahren* an. Hierbei wird das zu untersuchende Bauteil an einem Teilchenbeschleuniger (Zyklotron, Tandemgenerator) mit Kernbausteinen beschossen und dadurch nur an der Oberfläche einer ausgewählten Stelle radioaktiv markiert (partielle Oberflächenaktivierung). Die Aktivierungstiefe beträgt — abhängig von Größe und Energie der Geschößteilchen — 50 bis 250  $\mu\text{m}$ . Ein auf diese Weise aktivierter Strahlentopf sendet „weiche“ ( $\beta$ -Teilchen) und „harte“ ( $\gamma$ -Quanten) radioaktive Strahlen aus. Wegen der Notwendigkeit, eiserne Gehäuseteile oder einen größeren Luftweg durchdringen zu müssen, werden für die Verschleißmessung die  $\gamma$ -Strahlen genutzt. Die Oberflächenaktivierung wurde erstmalig im Jahr 1965 von Postnikow [7] angewendet.

Während der Beanspruchung wird die Abnahme der Strahlungsintensität, die ein Maß für den Abrieb ist, gemessen. Die Nachweisgrenze liegt bei 2  $\mu\text{m}$ , so daß für den Verschleißnachweis je nach Verschleißintensität zwischen 20 und 200 Betriebsstunden erforderlich sind. Die Zeit bis zur Entscheidung über verschleißmindernde Maßnahmen wird dadurch erheblich verkürzt. Die Messung kann demontagelos und quasikontinuierlich, d.h. in kurzen Zeitabständen, erfolgen.

Der entscheidende Vorteil der Dünnschichtdifferenzmessung ist, daß nur relativ geringe Aktivitäten benötigt werden ( $10^5$  bis  $10^6$  Bq) und dadurch die Strahlenbelastung für die an der Messung beteiligten Mitarbeiter außerordentlich gering ist. Die Messung kann auf normal ausgerüsteten Prüfständen oder auch im Feldeinsatz durchgeführt werden, ein besonderes Isotopenlabor ist nicht erforderlich. Voraussetzungen für das Arbeiten mit radioaktiven Bauteilen sind allerdings eine ausreichende

Bild 1. Übersicht über Aktivierungs- und Meßmethoden



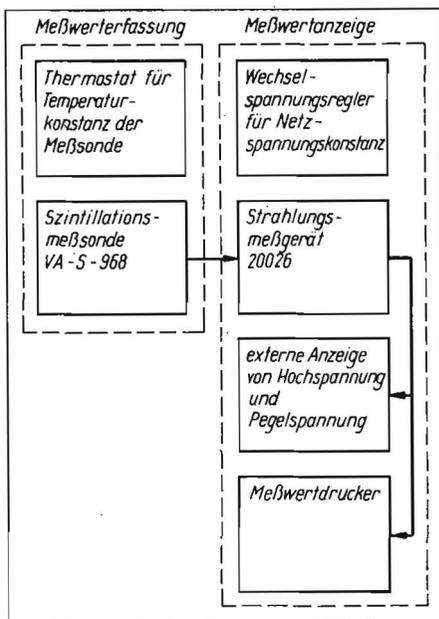


Bild 2. Blockschaltbild eines einfachen Strahlungsmeßplatzes

Qualifizierung der damit beauftragten Mitarbeiter, ein Minimum an Strahlenschutzmaßnahmen sowie eine entsprechende Genehmigung des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR.

Zur Messung der  $\gamma$ -Strahlungsintensität benötigt man eine Szintillationsmeßsonde und ein Strahlungsmeßgerät; beide sind im Lieferprogramm der Meßgeräteindustrie der DDR enthalten. Da beim Dünnschichtdifferenzmeßverfahren kleine Differenzen zwischen großen Zahlen zu bilden sind, muß naturgemäß besonderes Augenmerk auf hohe Genauigkeit gelegt werden. Deshalb sind noch einige Sekundärgeräte erforderlich. Bild 2 stellt das Blockschaltbild eines einfachen Strahlungsmeßplatzes dar. Man kann den Meßplatz noch durch eine Spektrometernautomatik ergänzen und den Meßwertdrucker über Lochstreifen mit einem Rechner koppeln. Es ist mit dieser Meßmethode nicht möglich und auch nicht erforderlich, die absolute Größe der Aktivität zu messen. Man mißt die Intensität der  $\gamma$ -Strahlung, die am Strahlungsmeßgerät digital in Impulsen je Zeiteinheit (Impulsrate  $I$ ) angezeigt wird. Die Impulsrate ist außer von der Aktivität

des strahlenden Bauteils noch vom Abstand der Sonde, vom Meßwinkel, von der Absorbierung der Gehäusewände usw., also von der gesamten Meßgeometrie abhängig. Für ausreichende Genauigkeit und Reproduzierbarkeit ist deshalb bei jeder Messung die exakte Einhaltung der gleichen Meßgeometrie von ausschlaggebender Bedeutung. Außerdem ist es notwendig, für gleiche Netzspannung und gleiche Sondentemperatur zu sorgen.

Im Bild 3 ist als Beispiel die Befestigung der Meßsonde am Zylinderblock eines Dieselmotors dargestellt, bei dem der Verschleiß der oberen Kolbenringnut gemessen wurde. Die stabile Sondenhalterung und die exakt gleiche Kolbenstellung garantieren bei jeder Messung, die bei Motorstillstand durchgeführt wird, gleiche Meßgeometrie. Die Sonde befindet sich während der Messung in einem Heizmantel, der von einer Flüssigkeit mit konstanter Temperatur durchströmt wird.

Es ist üblich, bei jeder Messung das Impulsratenverhältnis wie folgt zu berechnen:

$$i = \frac{I}{I_0}$$

$I$  Impulsrate zum Meßzeitpunkt

$I_0$  Impulsrate vor der Beanspruchung.

Die auch ohne Beanspruchung vorhandene Aktivitätsabnahme infolge natürlichen Zerfalls (gekennzeichnet durch die Halbwertszeit der radioaktiven Isotope) muß berücksichtigt werden. Sie wird an einem mitaktivierten, nicht beanspruchten Bauteil als Intensitätsverlust gemessen und im Impulsratenverhältnis  $i_z$  ausgedrückt:

$$i_z = \frac{I_z}{I_{z0}}$$

So erhält man den Intensitätsverlust infolge von Verschleiß, ausgedrückt als Impulsratenverhältnis  $i_v$ , das ein Maß für den Abrieb  $h$  darstellt:

$$i_v = \frac{I}{I_0} \frac{1}{i_z}$$

Für viele Aufgaben, z. B. beim Vergleich verschiedener Varianten hinsichtlich ihrer Verschleißfestigkeit, ist es ausreichend, das Verhältnis  $i_v$  während einer bestimmten Betriebsdauer für jede Variante unter gleichen Meßbedingungen zu bestimmen. Die Variante mit der geringsten Intensitätsabnahme ist die günstigere.

Häufig wird eine Aussage über den Einfluß unterschiedlicher Betriebszustände (z. B. Ma-

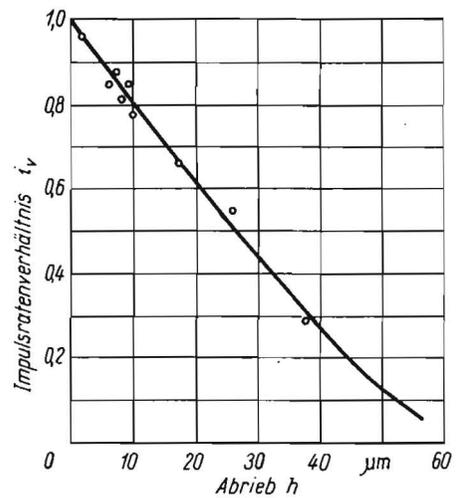


Bild 4. Impulsratenabnahme bei Abrieb in Verschleißrichtung ( $\alpha$ -Teilchen auf Stahl,  $90^\circ$ ,  $R_m = 1,5 \mu\text{m}$ )

schinenleistung, Fahrgeschwindigkeit, Öltemperatur) oder Umweltbedingungen (z. B. Staubgehalt in der Umgebungsluft, Wirksamkeit von Filtern), die sich im Feldeinsatz häufig ändern können, benötigt. Auch hierbei erhält man durch Messung der Impulsrate in möglichst kurzen Zeitabständen und Korrektur mit dem natürlichen Zerfall gute relative Ergebnisse. Ist die Aufgabe gestellt, den absoluten Abrieb an der bestrahlten Stelle zu ermitteln, muß die Zuordnung des Abriebs  $h$  zum Impulsratenverhältnis  $i_v$  ermittelt werden.

Diese Zuordnung hängt von folgenden Größen ab:

- Bestrahlungsdaten (Teilchenart, Energie, Bestrahlungswinkel)
- Werkstoff des Maschinenteils
- Oberflächengeometrie (Rauheit) des Maschinenteils
- Zeitspanne zwischen Bestrahlung und Messung
- Meßgeometrie.

Bei der Aktivierung des zu untersuchenden Teils wird eine Probe aus gleichem Werkstoff und mit gleicher Oberflächenbeschaffenheit mitbestrahlt, deren aktivierte Oberfläche zum Zeitpunkt der Messung mit geeigneten mechanischen Mitteln (z. B. feines Schleifpapier) in Schritten von einigen  $\mu\text{m}$  abgeschliffen wird. Vor dem Abschleifen und nach jeder Schleifstufe wird die Impulsrate gemessen. So

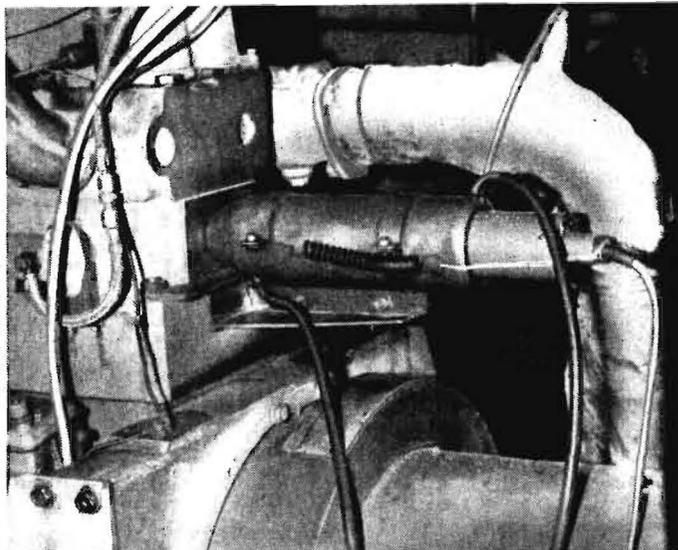
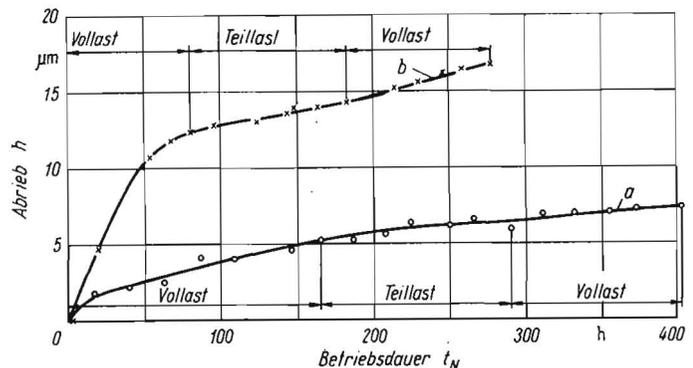


Bild 3. Anbau der Meßsonde an einem Dieselmotor zur demontagelosen Verschleißmessung der 1. Kolbenringnut

Bild 5. Einfluß des Staubgehalts der Ansaugluft und der Motorbelastung auf den Einlaufverschleiß der 1. Kolbenringnut eines Dieselmotors; a Prüfstandsbedingungen, b Zugabe von 30 mg Quarzstaub je  $\text{m}^3$  Ansaugluft



erhält man die im Bild 4 dargestellte Abhängigkeit  $i_v = f(h)$ .

### 3. Bisherige Ergebnisse

Während im Kraftfahrzeugbau und im Verkehrswesen bereits umfangreiche Erfahrungen über Verschleißmessungen mit Radioisotopen vorhanden sind, wird diese rationelle Meßmethode im Landmaschinenbau noch wenig genutzt. Im VEB Dieselmotorenwerk Schönebeck wurden mit dem Dünnschichtdifferenzverfahren Verschleißmessungen an Ventilsitzen, Kolbenringen und Kolbenringnuten durchgeführt [13]. Da es sich um verschleißfeste Bauteile mit hoher effektiver Lebensdauer (Grenznutzungsdauer) handelt, waren Prüfstandsversuche von 90 bis 300 Betriebsstunden notwendig, um die Nachweisgrenze deutlich zu überschreiten.

Als Beispiel sind in Tafel 1 die Ergebnisse eines Variantenvergleichs verschiedener Ventilsitzwerkstoffe zusammengefaßt. Bei neuentwickelten Dieselmotoren mit ständig steigender Hubraumleistung wird demzufolge der Einsatz von mit verschleißfestem Werkstoff gepanzerten Ventilsitzen erforderlich werden.

Bei den Verschleißmessungen an Dieselmotoren werden nicht nur Aussagen über die zu erwartende Grenznutzungsdauer gewonnen, sondern die Versuche ermöglichen auch einen Einblick in die Verschleißvorgänge an bestimmten Bauteilen. Ein Beispiel für die Untersuchung verschiedener Einflußfaktoren auf den Verschleiß ist im Bild 5 dargestellt. Es handelt sich um Absolutmessungen an der 1. Kolbenringnut während des Einlaufvorgangs. Man erkennt den großen Einfluß von Staub in der Ansaugluft, was ein weiteres Mal auf die große Bedeutung einwandfreier Luftfilterung hinweist. Der Einfluß der Motorbelastung auf den Abrieb ist bei sauberer Ansaugluft gering, bei hohem Staubanteil in der Luft jedoch stärker ausgeprägt.

Tafel 1. Vergleich verschiedener Ventilsitzwerkstoffe nach 300 Betriebsstunden

	Ventil-Nr.	Impulsratenverhältnis $i_v$
Einlaßventilsitz aus Stahl 45CrSi34	1	0,34
Einlaßventilsitz aus verschleißfestem Werkstoff (gepanzert)	2	0,49
	3	0,70
	4	0,79

### 4. Zusammenfassung

Die Anwendung radioaktiver Isotope für die Verschleißmessung ermöglicht eine Aussage über die Verschleißintensität unter bestimmten Betriebsbedingungen sowie über die Wirksamkeit verschleißmindernder Maßnahmen in kürzerer Zeit als bei herkömmlichen Meßmethoden, bei stark verschleißenden Bauteilen in wenigen Stunden. Die Zeit bis zur Produktionswirksamkeit wird dadurch wesentlich verkürzt. Die Messung kann demontagelos und bei entsprechender Gestaltung der Meßvorrichtung auch quasikontinuierlich erfolgen.

Für Betriebe, die nicht über ein eigenes Isotopenlabor verfügen, ist die partielle Oberflächenaktivierung, verbunden mit der Dünnschichtdifferenzmessung, anwendbar. Die dabei entstehende Radioaktivität ist gering, so daß die Messungen bei Beachtung der Strahlenschutzvorschriften auf normal ausgerüsteten Prüfständen oder auch im Feldeinsatz möglich sind. Die Meßmethode wurde beschrieben, und es wurden Beispiele für Verschleißmessungen an Dieselmotoren angegeben.

Die Meßmethode ist einsatzbereit und kann an den verschiedensten Baugruppen und Einzelteilen landtechnischer Arbeitsmittel angewendet werden (z. B. Häckselmesser, Pflugscharkörper, Rodewerkzeuge, Bauelemente von Hydraulikanlagen). Gegenwärtig wird in den Anwenderbetrieben daran gearbeitet,

durch gezielte Verbesserung einzelner Arbeitsschritte die Genauigkeit der Meßergebnisse noch weiter zu erhöhen.

### Literatur

- [1] Brendel, H.; Winkler, H.: Tribotechnik als Beitrag zur Erhöhung von Qualität und Zuverlässigkeit technischer Erzeugnisse und technologischer Verfahren. *Schmieringstechnik* 10 (1979) H. 2, S. 37—39.
- [2] Ferris, S. W.: *Wear Test Method and Composition*. US-Patent 2315845 vom 15. Okt. 1941.
- [3] Wincierz, K.: Anwendung radioaktiver Isotope zur Untersuchung von Verschleißfragen in Verbrennungsmotoren. *Wiss. Zeitschr. der TH Karl-Marx-Stadt* 6 (1964) H. 3, S. 53—59.
- [4] Fleischer, G.: Radioaktive Isotope fördern Verschleißforschung. *Maschinenbautechnik* 5 (1956) H. 2, S. 395—407.
- [5] Djatschenkow, P. J.: *Verschleißuntersuchungen mit radioaktiven Isotopen*. Berlin: VEB Verlag Technik 1958.
- [6] Nisnewitsch: *Der Einsatz von radioaktiven Isotopen zur Verschleißmessung*. Moskau: Gosatomisdat 1962.
- [7] Postnikov, V. I.: *Kontinuierliche Kontrolle des Verschleißes*. Moskau: Atomisdat 1966, S. 11—16.
- [8] *Verschleißuntersuchungen unter Verwendung radioaktiver Isotope*. In: *Schriftenreihe Isocommerz GmbH „Anwendung von Isotopen und Kernstrahlungen in Wissenschaft und Technik“*, Berlin (1970) Nr. 2.
- [9] Polzer, G.: *Radioaktive Abriebmessung*. *Isotopenpraxis* 6 (1970) H. 8, S. 272.
- [10] Oberländer, K.; Friedlein, J.: *Einsatz von Radioisotopen zur Verschleißmessung*. *MTZ* 34 (1973) H. 7, S. 211—215.
- [11] Polzer, G.: *Forschungsbericht PE 1/76 des WTZ Automobilbau Karl-Marx-Stadt*, 1976.
- [12] Sturm, H.: *Neue Erkenntnisse zur Anwendung der Oberflächenaktivierung und des Zweipräparate-Differenz-Verfahrens zu vergleichenden Verschleißmessungen an Kraftfahrzeug-Bauteilen*. *Kraftfahrzeugtechnik* (1981) H. 3, S. 77—81.
- [13] Korb, K.: *Verschleißmessungen an Motorenprüfständen und ihre Grenzen*. Vortrag auf der 10. Kraftfahrzeuginstandhaltungstagung der Ingenieurhochschule Zwickau 1980. A 3159

## Einsatz der zweckmäßigsten Gerätetechnik für die Konservierung der Landtechnik

Dipl.-Ing. E. Scharf, KDT, VEB Kreisbetrieb für Landtechnik „Vogtland“ Oelsnitz

### 1. Einleitung

Um einen wirksamen Korrosionsschutz der Landtechnik zu ermöglichen, ist es notwendig, neben den geeignetsten Korrosionsschutzstoffen auch die günstigste gerätetechnische Ausrüstung einzusetzen. Bei der Auswahl der einsetzbaren Geräte und Einrichtungen spielen verschiedene Einflußfaktoren eine Rolle. Mögliche Kriterien sind

- Art und Umfang der Korrosionsschutzmaßnahmen
- zu erwartende Einsatzbedingungen
- Festlegung der zu verwendenden Korrosionsschutzstoffe
- geplanter Kostenaufwand usw.

Im folgenden sollen anwendbare Ausrüstungen für die Durchführung von temporären Korrosionsschutzmaßnahmen vorgestellt werden. Zur Vervollständigung werden die im VEB KfL „Vogtland“ Oelsnitz gefertigten Rationalisierungsmittel bzw. die aufgrund von durchgeführten Erprobungsversuchen begonnenen Weiterentwicklungen erläutert.

### 2. Auftragverfahren

#### 2.1. Anwendbare Auftragverfahren

Die Qualität der Konservierung ist von der Art und Durchführung des technologischen Anwendungsverfahrens mit dem bestimmten Konservierungsmittel abhängig. Ungeeignete Verfahren oder unzureichend durchgeführtes Anwenden von Konservierungsmitteln stören den Arbeitsablauf und beeinträchtigen die Schutzwirkung der Konservierungsmethode. In Abhängigkeit von den gegebenen technischen Möglichkeiten, dem Typ und den Eigenschaften des verwendeten Korrosionsschutzstoffes sowie der Art und der konstruktiven Besonderheiten der zu schützenden Erzeugnisse können folgende Auftragverfahren angewendet werden:

- Tauchverfahren
- Spritzverfahren
- Einfüllverfahren (Fluten und Zirkulation)
- Aufstreichen.

Für die Konservierung von landtechnischen Arbeitsmitteln eignen sich das Spritz- und das

Streichverfahren. Im Hinblick auf eine Mechanisierbarkeit des Konservierungsvorgangs ist besonders das Spritzverfahren anzuwenden.

#### 2.2. Erläuterung der verschiedenen Formen des Spritzverfahrens

##### 2.2.1. Pneumatisches Spritzen

Beim pneumatischen Spritzverfahren wird der Korrosionsschutzstoff durch einen Luftstrom hoher Geschwindigkeit zerstäubt und auf das zu beschichtende Werkstück aufgetragen. Die Luft dient zum Aufbrechen bzw. Zerstäuben des aus der Spritzdüse austretenden Materialstroms sowie zum Transport des Korrosionsschutzmittels vom Spritzapparat auf die Oberfläche des Erzeugnisses. Diese Luftmenge trifft zum großen Teil mit auf der zu spritzenden Fläche auf und führt dort zu einem Luftpolster, das zur Seite entweichen muß und dabei einen Teil des Spritzmaterials mit abträgt. Ein weiterer Teil wird bereits nach Aus-