

Diagnoseverfahren für das Vakuumsystem von Melkanlagen

Dr.-Ing. D. Troppens, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Bei der systematischen Entwicklung eines Diagnosesystems für die Landtechnik steht gegenwärtig im Vordergrund, für ausgewählte Objekte Teildiagnosesysteme zu schaffen. Der sich deutlich abzeichnende Nutzen der Diagnostik ist ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der Objekte. Der Hersteller von Melkanlagen in der DDR, der VEB Kombinat Impulsa, hat in der Instandhaltungsordnung für seine Erzeugnisse [1] bereits Überprüfungen verankert, um die notwendige Funktionstüchtigkeit der Melkanlagen in den Milchviehanlagen zu garantieren.

Der Ausfall einer Melkanlage bzw. bereits auch Abweichungen von den vorgeschriebenen Funktionsparametern können Schäden bei den Tieren hervorrufen, deren Verhinderung bedeutenden Nutzen für die Aufwendungen nachweisen läßt. Es ist wichtig, durch Überprüfungen Meßergebnisse zu erhalten, aus denen bewertende Aussagen für die Diagnostik abgeleitet werden können, die eine bessere Begründung der notwendigen Erhaltungsmaßnahmen erlaubt. Hierzu wurden deshalb Untersuchungen angestellt [2], deren Ergebnisse hier dargelegt werden.

1. Derzeitig vorhandene bzw. erprobte Verfahren zur Überprüfung

Für die Überprüfung der Baugruppen im Vakuumsystem werden zur Zeit Funktionsparameter verwendet, die den Charakter einer Komplexdiagnose haben. Es wird das Melkdiagramm, d. h. der zeitliche Verlauf des Drucks im Melkbecherzwischenraum, mit einem speziell hierfür entwickelten mechanischen Pulsatorprüfgerät [3] aufgenommen. Abweichungen von der Normalkennlinie deuten auf Störungsursachen in verschiedenen Bauelementen des Vakuumsystems hin, die weitere Überprüfungen notwendig machen. Eine Einengung der möglichen Ursachen ergibt sich durch Prüfen der Vakuumpumpen. Auch hier werden Funktionsparameter benutzt, wie der erzeugte Vakuumdruck bei einem definierten Luftförderstrom, d. h. es wird die Leistungsfähigkeit der Pumpe festgestellt. Vakuumdruck und Volumenstrom können als Komplexdiagnoseparameter angesehen werden, da es verschiedene Ursachen für einen Leistungsabfall in einer Anlage geben kann. Diese Werte können mit einfachen mechanischen Manometern ausreichender Genauigkeit (Klasse 0,6) und mit Hilfe einer definierten Drosselstelle mit definiertem Widerstand gegen den Luftstrom gemessen werden.

In [4] wurde über eine kontinuierlich verstellbare Drossel im sowjetischen Diagnosegerät PKD-1 berichtet. Im Impulsa-Prüfkoffer befindet sich eine Überprüfungseinrichtung mit austauschbaren Düsen, die den gleichen Zweck erfüllen [5]. Leider sind derzeitige Fertigungstoleranzen dieser Überprüfungseinrichtung teilweise so groß, daß keine ausreichende Genauigkeit garantiert werden kann. Es kommen Abweichungen von den mitgelieferten Auswertdiagrammen bis zu etwa 20% vor. Eine Auswertung der Meßergebnisse anhand der mitgelieferten Dia-

gramme ist zwar etwas umständlich, aber diese Prüfeinrichtung ist einfach aufgebaut, wenig aufwendig und bei sorgfältiger Fertigung bzw. individueller Kalibrierung jedes Geräts auch hinreichend genau.

Bei der Diagnose sind Abweichungen der Förderleistung der Pumpen von rd. 10% des Nennwerts zulässig, d. h. die Genauigkeit müßte so hoch sein, daß der absolute Fehler kleiner ist als 1/10 bis 1/5 der zulässigen Abweichung. Bei $V_N = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ sind das 0,3 bis 0,6 m^3/h als absoluter Fehler, wenn 3 m^3/h die zulässige Abweichung ist. Die Auswertung über die beigegebenen Diagramme und die Fertigungstoleranzen lassen z. Z. eine derartige Genauigkeit noch nicht zu.

Für das sowjetische Gerät PKD-1 wird ein Fehler von $\pm 3\%$ im Bereich von 10 bis 100 m^3/h angegeben (das sind bei $V_N = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ $\pm 1 \text{ m}^3/\text{h}$).

Für die Bewertung der Meßergebnisse sollte als Zielstellung bei der derzeitigen praktizierten Instandhaltungsmethode die Aussage stehen, ob eine Vakuumpumpe der spezialisierten Instandhaltung zugeführt werden muß, unabhängig davon, welche am Einsatzort nicht behebbaren Schäden zum Leistungsabfall geführt haben. Erstrebenswert wäre eine Aussage über Restnutzungsdauer. Kann als Ursache des Leistungsabfalls das Zusetzen des Schalldämpfers ausgeschlossen werden, wird die Pumpe bei Unterschreitung einer festgelegten Förderleistung (ausgedrückt durch den Luftmengenstrom beim vorgeschriebenen Vakuumdruck) ausgesondert.

Steht ein ausreichendes Vakuum und die zum Erhalt notwendige Luftstrommenge zur Verfügung und liegen keine Verluste durch zugesetzte oder undichte Leitungselemente vor, müssen die Ursachen der Veränderungen im Melkdiagramm bei den Pulsatoren bzw. bei den Ventilbaugruppen gesucht werden. Diese Baugruppen sind genau zu überprüfen, zu reinigen, nachzustellen oder der Instandsetzung zuzuführen. Damit sind klare Vorstellungen und notwendige Hilfsmittel zur vorbeugenden Instandhaltung unter Einbeziehung der Technischen Diagnostik gegeben.

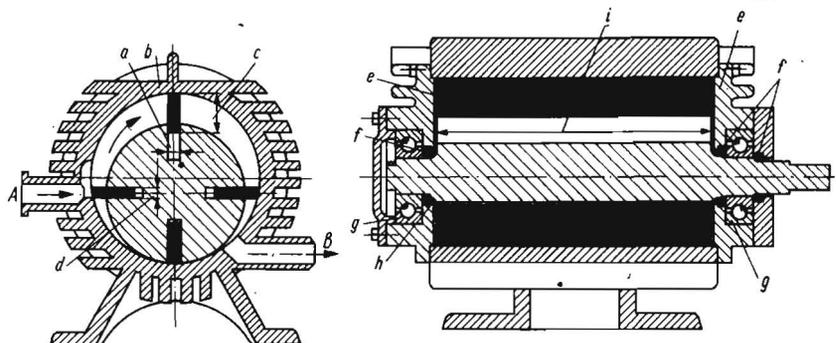
Jedoch muß man sagen, daß nicht allen Nutzern diese eingehenden Überprüfungsmitel zur Verfügung stehen bzw. diese nicht fachgerecht und den Forderungen entsprechend eingesetzt werden. Das zeigen die z. T. stark verschlissenen Baugruppen, die zur Instandsetzung angeliefert werden.

2. Zustandsänderungen am Vakuumsystem während der Nutzung

Klärung für die Beurteilung der derzeitigen Diagnoseverfahren bedarf die Frage, ob die Zustandsänderungen so erkannt werden können, daß sie hinsichtlich der Wahl der geeigneten Instandhaltungsmaßnahme richtig bewertet werden. Es wurden hierzu die

Bild 1. Schematische Darstellung der Zustandsänderungen an einer Vakuumpumpe VZ 40/130;

A Saugseite, B Druckseite (Verstopfung), a Rotornutbreite (Verschleiß), b Statorinnenbohrung (Verschleiß), c Arbeitsschieberbreite (Verschleiß), d Arbeitsschieberdicke (Verschleiß), e Gehäusedeckel (Verschleiß), f Dichting (Verschleiß), g Wälzlager (Verschleiß, Ermüdung), h Rotorstirnfläche (Verschleiß), i Arbeitsschieberlänge (Verschleiß)



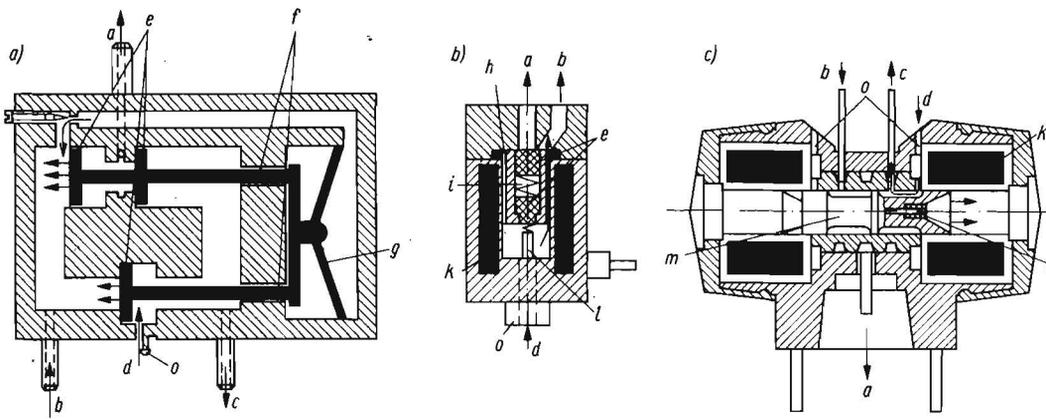


Bild 2. Schematische Erläuterung der wichtigsten Zustandsänderungen an Impulserzeugern des VEB Kombinat Impulsa;
 a) Membranpulsator, b) Ventilbaugruppe, c) Elektropulsator;
 a Vakuumsleitung, b zum Melkzeug (erste Hälfte), c zum Melkzeug (zweite Hälfte), d Frischluftzufuhr, e Ventilgummi (Verhärten, Verschleiß), f Ventilkegelführung (Verschleiß), g Membran (porös), h Ankerführungsbohrung (Verschleiß), i Feder (Ermüdung, Bruch), k Magnetspule (Kurzschluß oder Unterbrechung), l Führungsstift mit Feder (Ermüdung, Bruch), m Steuerkolben/Buchse (Verschleiß), n Dämpfungspuffer (Verschleiß der Puffertiefe), o Luftkanäle und Filter (Verschmutzung)

Zustandsänderungen, wie sie bei einer Demontage subjektiv oder auch meßtechnisch nachgewiesen werden können, analysiert. Die Analyse der Zustandsänderungen an einer Vakuumpumpe (als Beispiel wird der Typ VZ 40/130 gewählt) zeigt Bild 1. Alle Änderungen an den gekennzeichneten Verschleißstellen haben Einfluß auf die genannten Diagnoseparameter. Eine Ausnahme bildet die gleichmäßige Abnutzung der Arbeitsschieberbreite infolge normalen Verschleißes. Diese Abnutzung ist jedoch die Schädigung, die auch bei richtiger Pflege und Wartung und bei Einhaltung vorgeschriebener Betriebsbedingungen immer auftreten wird, bevor sie zum Ausfall der Pumpe führt. Besonders unangenehm ist hierbei die Tatsache, daß die zu geringe Arbeitsschieberbreite zum Herausgleiten aus der Nut des Rotors führen kann, was eine Zerstörung der Gehäuse verursachen würde und deshalb verhindert werden muß.

Die Abnutzung an den Stirnflächen h, an der Arbeitsschieberlänge i, an den Gehäusedeckeln e oder auch am Rotorkörper tritt bei normalem Betrieb kaum auf, da eine direkte Berührung nur bei Überhitzung infolge der unterschiedlichen Ausdehnung von Rotor und Stator (Anlaufen) oder bei Lagerschäden (Verkanten des Rotorkörpers) zustande kommt. Die Laufleistung der Wälzlager g ist bei richtiger Schmierung mit dem vorgeschriebenen Fett jedoch normalerweise höher als die der Schieber. Diese Schäden dürften deshalb nicht auftreten, wenn bei jeder Instandsetzung die Lager gewechselt bzw. nur solche zur Wiederverwendung gelangen, die der Laufleistung der Arbeitsschieber sicher entsprechen. Ermüdungen oder unzulässige Abnutzungen der Dichtringe f führen ebenfalls zum Verlust an Vakuumeistung, was bei richtig ausgewählten Dichtringmaterialien erst nach Abnutzung der Arbeitsschieber auftreten dürfte.

Die möglichen Zustandsänderungen an Pulsatoren und Ventilbaugruppen zeigt Bild 2. Neben Verschmutzungen der Luftkanäle und Filter o, die bei periodischen Reinigungen zu beseitigen sind, gibt es Alterungs- und Abnutzungserscheinungen an den Gummielementen der Ventilkegel e, Verschleißerscheinungen in ihren Führungen f, speziell beim Elektropulsator den Verschleiß am Steuerschieber m bzw. dessen Führung mit Vergrößerung des Spiels und an den Dämpfungspuffern n eine Vertiefung. Hinzu kommt bei den Membranpulsatoren das Altern und Zerreißen der Membran g. Diese Zustandsänderungen wirken sich alle im Melkdiagramm aus und können somit, wenn auch im einzelnen nicht unterscheidbar, als Schäden mit unzulässiger Veränderung der Funktionsweise erkannt werden, wie Bild 3 zeigt. Wenn das geforderte Melkdiagramm durch Pflege und Einstellarbeiten nicht wieder erreicht werden kann, müssen die Pulsatoren ausgetauscht und instand gesetzt werden.

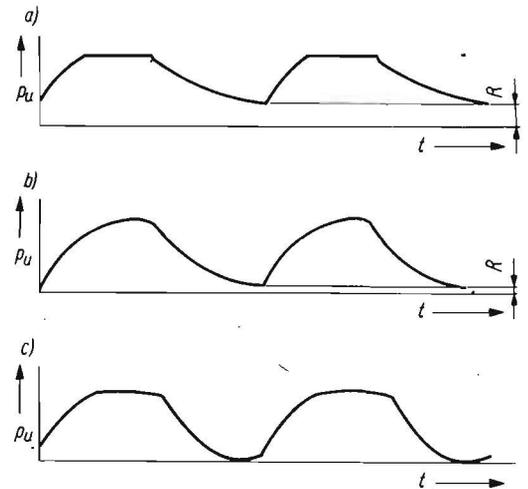


Bild 3. Pulsationskurven in Abhängigkeit von den Zustandsänderungen an Membranpulsatoren:
 a Filter verschmutzt, b Ventilkegel des Membranpulsators verhärtet, c Ventilführung abgenutzt. R Restvakuum

3. Schlußfolgerungen für die Bewertung eines Diagnosebefunds

Aus der Analyse der Zustandsänderungen bzw. aufgetretener Schäden und den Untersuchungsergebnissen [2] [6] lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

Die Beurteilung des Zustands einer Vakuumpumpe an Hand der Vakuumeistung gestattet eine Aussonderung der zur spezialisierten Instandsetzung anzuliefernden Vakuumpumpe, wenn der zulässige Grenzwert unterschritten wird.

Daneben sollten Schäden durch unzulässige Erwärmung vermieden werden. Es ist zu erwägen, ob man durch eine Anzeige der Temperatur oder durch automatisches Abschalten solche durch das Anlaufen auftretende Schäden vermeidet, obwohl durch richtige Betriebsbedingungen und Einhaltung der Pflege- und Wartungsvorschriften etwas derartiges nicht eintreten dürfte. Das Zusetzen der Schalldämpfer ist durch eine Abnahme der Vakuumeistung bei den vorgeschriebenen Überprüfungsabläufen erkennbar.

Die bei normalem Betrieb infolge von Materialschwankungen der Arbeitsschieber nach unterschiedlicher Nutzungsdauer auftretenden Schieberabnutzungen in der Breite sind nicht an Hand der Diagnoseparameter erkennbar und müssen anderweitig überprüft werden (Bild 4). Es ist möglich, hier mit Hilfe eines

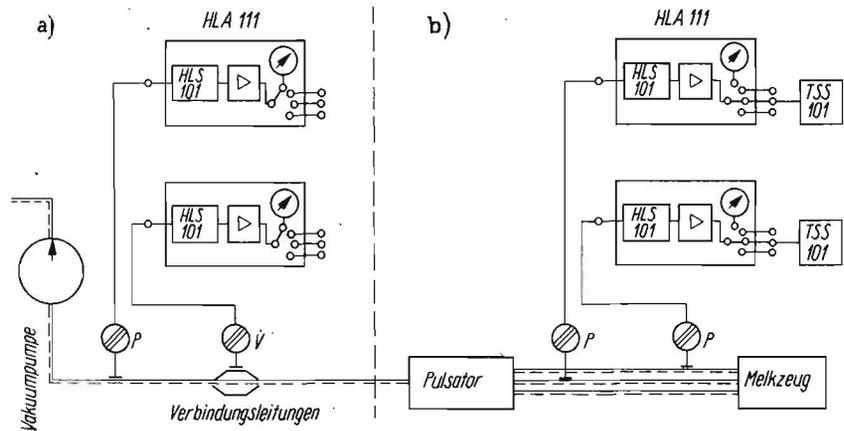
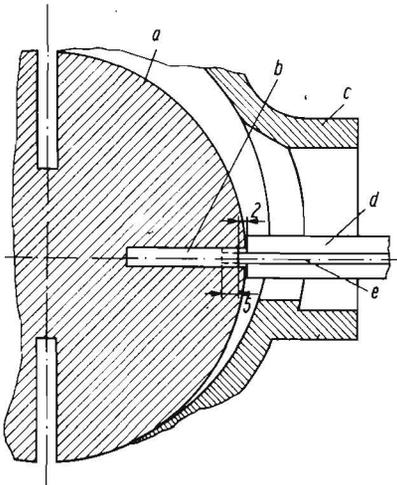


Bild 5. Baugliedplan des vorgeschlagenen elektrischen Diagnoseerätessystems;
a) Diagnose an Vakuumpumpe und Rohrnetz
b) Diagnose an Pulsatoren und Melkzeug

◀ Bild 4. Mechanische Messung der Arbeitsschieberbreite an der Saugseite mit einem Meßschieber;
a Umlaufkolben, b Arbeitsschieber, c Gehäuse, d Meßschieber, e Tiefenmaß

Meßschiebers d oder eines Tiefenmaßes e die Schieberbreite festzustellen. Die Diagnoseeinrichtungen für Vakuumpumpen des Impulsa-Prüfkoffers sind nach den in Abschn. 1 gegebenen Hinweisen einzusetzen.

Die Bewertung des Melkdiagramms zur Beurteilung des Membranpulsators sollte auf die Kontrolle der Pulsfrequenz hinauslaufen. Hierzu ist ein genügend genauer Papiervorschub des Meßgeräts notwendig. Bei Abweichungen kann versucht werden, mit der Einstellschraube eine Nachregulierung zu erreichen. Ist das nicht mehr möglich, ist der Membranpulsator auszusondern. Liegt ein zu hohes Restvakuum als Abweichung vom Soll-diagramm vor, war die Reinigung unzureichend, oder der Pulsator muß ausgesondert werden. Bei Membranschäden ist der Pulsator nicht mehr funktionstüchtig.

Falsche Taktfrequenz des Elektropulsators erfordert, das elektronische Steuergerät zu überprüfen. Bei Stillstand des Pulsators liegen elektrische Schäden oder eine unzulässige Puffertiefe vor, die mit einem Tiefenmesser festgestellt werden kann. Ein Auswechseln der Schieberstange ist dann möglich. Wird auch nach gründlicher Reinigung Restvakuum festgestellt, ist das ein Zeichen für Spiel zwischen Steuerschieber und Laufbuchse. Bei Kenntnis der Abnutzungscharakteristik dieses Verschleißprozesses kann man nach [6] eine Restnutzungsdauerprognose anstellen, indem der Zeitpunkt bestimmt wird, in dem ein unzulässiges Restvakuum auftreten wird. Bei den Ventilbaugruppen ist auch die Pulsfrequenz und der Steuerablauf der Melkphasen durch die elektronischen Steuergeräte vorgegeben, so daß bei Aussetzen, falscher Frequenz oder falschem Ablauf diese Einheiten vom Spezialisten überprüft werden müssen. Abweichungen vom Melkdiagramm in Form von Restvakuum lassen auf unzureichende Reinigung schließen. Treten dazu weitere Schwankungen des Vakuumdrucks während eines Taktes auf, sind die Gummis der Ventilkegel oder die Sitze unzulässig abgenutzt, und die Baugruppe ist auszusondern.

Ein Hängenbleiben der Ventilkegel (bei intakten elektrischen Baugruppen) ist die Folge starken Ermüdens oder Bruchs der Federn am Ventilkegel, die auswechselbar sind.

Das spezielle mechanische Druckregistriergerät (Pulskurvenschreiber PKG) zur Aufnahme der Melkdiagramme läßt eine Überprüfung des Restvakuums zu. Die geforderte Genauigkeit zum Erkennen des zulässigen Restvakuums von $2,66 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ ist jedoch nicht gewährleistet, da der Wert im Fehlerbereich des PKG liegen kann, der $\pm 5\%$ von $50,6 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$, d. h. $2,53 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$, beträgt.

Man sollte auch überprüfen, ob die engen Toleranzen für das Melkdiagramm tatsächlich gerechtfertigt sind, da neue Membranpulsatoren z. B. bereits stark streuende Melkdiagramme aufweisen, wie in [6] nachgewiesen werden konnte.

Tafel 1. Vergleich der Gerätesysteme

Gerätesystem	Vorteile	Nachteile
alt	billiger Bedienung der Geräte einfacher	teilweise zu hoher Meßfehler
neu	höhere Genauigkeit schnellere Auswertung möglich multivalente Anwendbarkeit	höhere Qualifizierung der Bedienpersonen teurer

Trotz vorgeschriebener Verbindungsleitungen usw. zum Melkzeug ist das Melkdiagramm stark abhängig vom Material der Zitzengummiensätze. Dieser unangenehme Einfluß kann bei der Überprüfung der Pulserzeuger umgangen werden, wenn das Prüfgerät direkt hinter dem Pulsator angeschlossen wird. Auch hier kann man alle Schäden an Hand der Abweichungen der Zeitverläufe oder am Vorhandensein eines Restvakuums erkennen. Verhärtungen der Ventilkummi oder schlechter Sitz sind durch Schwankungen höherer Frequenzen im Druckzeitverlauf gut zu erkennen.

4. Möglichkeiten der Anpassung der Diagnoseeinrichtungen an ein modernes elektrisches Meßerätessystem für die Technische Diagnostik

Die Entwicklung der Technischen Diagnostik geht, wie in [7] dargestellt ist, wegen verschiedener Vorteile über zur Anwendung elektronischer Meßgeräte vor allem hinsichtlich einer besseren Datenverarbeitung.

Auf der Grundlage der bisher verwendeten Diagnoseparameter kann ein elektrisches Gerätesystem vorgeschlagen werden, das im Bild 5 als Baugliedplan schematisch dargestellt ist. Die Meßwertnehmer wurden als Funktionsmuster erprobt und sind in [6] und [2] genauer beschrieben. Sie werden an handelsübliche Geräte angeschlossen. Es ist möglich, später ein für die Diagnosezwecke abgestimmtes Gesamtgerät in gleicher Form zu schaffen.

Vergleicht man die herkömmlichen Meßgeräte mit dem vorgeschlagenen Gerätesystem, so kann man zunächst die in Tafel 1 zusammengestellten Vor- und Nachteile nennen.

Die Vorteile geben Veranlassung, an einer Vervollkommnung dieses elektrischen Gerätesystems zu arbeiten, zumal auch kostenmäßig günstigere Lösungen möglich sind. Eine höhere Qualifizierung des Bedienungs- und Wartungspersonals wird man im Zusammenhang mit den modernen Melkanlagen ohnehin fordern müssen.

Fortsetzung auf Seite 422

Optimaler Diagnoseaufwand für landtechnische Arbeitsmittel

Dr.-Ing. K. Gäbler, KDT, Ingenieurbüro für Vorbeugende Instandhaltung Dresden

1. Aufgabenstellung

Die Intensivierung verlangt auch eine stärkere wissenschaftliche Durchdringung der Probleme der vorbeugenden Instandhaltung, um deren Effektivität zu erhöhen.

Die Technische Diagnostik (TD) ist bei der vorbeugenden Instandhaltung landtechnischer Arbeitsmittel eine wichtige Maßnahme, um hohe Einsatzzuverlässigkeit der Maschinen bei geringen Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sichern. Da die Technische Diagnostik nur eine Möglichkeit zur Erreichung dieses Gesamtziels ist, kommt es darauf an, nicht das maximal Mögliche zu suchen, sondern den Diagnoseaufwand mit dem erreichbaren Nutzen optimal abzustimmen.

Entsprechend den zwei Hauptaufgaben der TD ergibt sich ihr Vorteil aus dem

- Nutzen durch Funktionsdiagnose (niedrige Betriebskosten, hohe Arbeitsproduktivität und -qualität)
- Nutzen der Schadensdiagnose (hohe Zuverlässigkeit, Verminderung des Instandhaltungsaufwands).

Es ist notwendig, den Aufwand besonders bei der Schadensdiagnose zu optimieren, da deren Ziel auch durch die Methode der Instandhaltung nach starrem Zyklus verwirklicht werden kann. Es ist also zu ermitteln, wann und an welchen Baugruppen der Maschinen durch die TD ein größerer Nutzeffekt erreicht werden kann.

Die Funktionsdiagnose ist aus technischen, technologischen, ökonomischen oder sicherheitstechnischen Gründen erforderlich, um die Einhaltung bestimmter Funktionsparameter zu überprüfen. Die erforderlichen Überprüfungen sind dazu mit dem geringsten Aufwand bei Einhaltung der qualitativen Forderungen zu tätigen. Aus diesen Gründen wurden Untersuchungen und Optimierungsberechnungen für die Schadensdiagnose durchgeführt.

Fortsetzung von Seite 421

5. Zusammenfassung

Durch Untersuchungen an Baugruppen des Vakuumsystems von Melkanlagen wurden Aussagen für die Diagnostik abgeleitet, die notwendig werdende Erhaltungsmaßnahmen besser begründen sollen.

Es werden die verschiedenen Zustandsänderungen am Vakuumsystem während der Nutzung dargelegt und Schlußfolgerungen für die Bewertung eines Diagnosebefunds gezogen. Zur Verbesserung der Technischen Diagnostik werden Möglichkeiten zur Anwendung elektrischer Meßgerätesysteme erörtert.

Literatur

- [1] Anweisung zur vorbeugenden Instandhaltung von Impulsa-Melkanlagen. Prospekt des VEB Kombinat Impulsa, 1972.
- [2] Maack, H.-H.; Troppens, D.: Verfahrenssystematisierung Technische Diagnostik. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Forschungsabschlußbericht 1975 (unveröffentlicht).
- [3] Knappe, E.; Deutschmann, S.; Milde K.: Pulsatorprüfgerät für Melkanlagen. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 8, S. 363—364.
- [4] Ripke, D.: Kontrollgerät für Melkanlagen PKD-1. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 8, S. 365—366.
- [5] Bedienungsanleitung des Prüfkoffers für Impulsa-Melkanlagen. VEB Kombinat Impulsa 1972.
- [6] Hensling, S.: Ermittlung notwendiger Zusammenhänge zur Auswertung von Messungen für die Diagnose an Baugruppen des Vakuumsystems von Melkanlagen. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1975.
- [7] Michlin, V. M.: Die Technische Diagnostik von Maschinen in der Landwirtschaft. agrartechnik 25 (1975) H. 9, S. 439—443.

A 1329

2. Möglichkeiten zur Ermittlung des optimalen Diagnoseaufwands

2.1. Kriterien des optimalen Diagnoseaufwands

Der Diagnoseaufwand wird bestimmt durch:

- Kosten für die Diagnose einer Maschine bzw. Baugruppe
- Häufigkeit der Diagnose (Diagnoseintervall)
- Umfang einer Diagnosemaßnahme (Gesamtdiagnose/Teildiagnose, Komplexdiagnose/Tiefendiagnose).

Die Optimierungsberechnungen basierten auf dem grundlegenden Kostenmodell (Gl. 1) der vom Diagnoseaufwand abhängigen Kosten:

$$\frac{K_{ges}}{t} = \frac{K_{pl} + K_{ul} + K_{ü}}{t} \quad (1)$$

K_{ges} Instandhaltungs- und ausfallbedingte Gesamtkosten bei Anwendung der TD

K_{pl} Kosten für planmäßige Instandsetzungen

K_{ul} Kosten für unplanmäßige Instandsetzungen einschließlich Ausfallkosten

$K_{ü}$ Kosten für diagnostische Überprüfungen
t mittlere Grenznutzungsdauer.

Die Diagnose ist so zu gestalten, daß in Abhängigkeit optimaler Werte für

- Kosten einer Diagnose
- Häufigkeit der Diagnosemaßnahmen
- Genauigkeit der Diagnose
- Betriebssicherheitsgrenzwert

die Instandhaltungs- und ausfallbedingten Gesamtkosten je Nutzungsdauereinheit minimal werden.

Die Kosten für planmäßige und unplanmäßige Instandsetzungen, die sich aus der Häufigkeit und den durchschnittlichen Kosten der jeweiligen Instandsetzungsmaßnahme ergeben, sowie die realisierte mittlere Grenznutzungsdauer sind abhängig vom Diagnoseaufwand. Je genauer die Diagnose (und damit je höher die Kosten einer Diagnose) und je öfter die Diagnose erfolgt, desto weniger kostenwirksame unplanmäßige Instandsetzungen treten auf. Gleichzeitig wird mit diesem höheren Diagnoseaufwand die Ausnutzung der Restnutzungsdauer der Elemente und Baugruppen besser, und die realisierte mittlere Grenznutzungsdauer vergrößert sich.

Die schematische Darstellung dieser Abhängigkeit zeigt das Bild 1. Von wesentlichem Einfluß auf das Verhältnis planmäßiger und unplanmäßiger Instandsetzungen und auf die realisierte Grenznutzungsdauer ist auch das Betriebssicherheitsgrenzmaß. Anhand

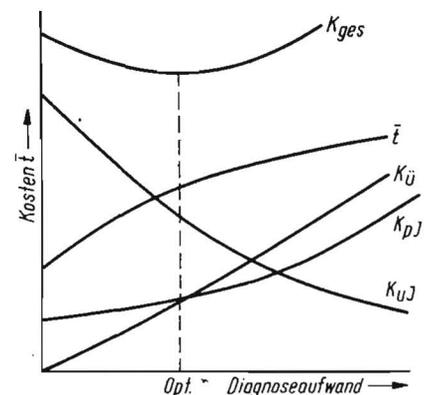


Bild 1
Abhängigkeit der Kosten und der realisierten Grenznutzungsdauer vom Diagnoseaufwand