

Schwingungsdiagnostische Untersuchungen an Antrieben: Restnutzungsdauer und Instandhaltungs-Maßnahmen

H.-J. Hornisch und A. Günther, Böhlen
S. Uhlemann und R. Klopfer, Theißen

Diagnostic Tests on Drives: Remaining Serviceable Life and Maintenance Measures

By means of two practical examples the authors show that with the aid of technical diagnostics it is possible

- to detect deteriorations and classify them accordingly, and
- to monitor the course of damage so that, when operation is continued, the risk of consequential damage can to a very large extent be reduced or eliminated.

With the application of the methods of technical diagnostics tools are thus made available that meet the requirements of the concept of a "maintenance-made-to-measure". This concept is based on communication between those responsible for operation, maintenance and diagnosis.

1. Ausgangspunkt

Die Instandhaltung als Hilfsprozeß ist ein wesentlicher Bestandteil für die Wirtschaftlichkeit der Produktionsprozesse. So beeinflusst die richtige Instandhaltungsstrategie entscheidend mit über Effizienz der jeweiligen Anlage bzw. bestimmter Produktionsabläufe.

Beachtet man die DIN 31051, so gliedert sich die Instandhaltung in die drei Grundtätigkeiten Inspektion, Wartung und Instandsetzung.

Untersetzt man die Inspektionen, so sind drei verschiedene Inspektionsformen gebräuchlich:

- Trendbeobachtung (Vergleich von Meßwerten über einen definierten Zeitraum),
- Zustandskontrolle (Vergleich zwischen Ist- und Sollwert),

- Schadensdiagnose (Meßwertaufnahme und Auswertung zur gezielten Fehlerortung).

Durch die Kopplung aller drei Inspektionsformen ist eine aus bestimmten Gründen, wie fehlende Redundanz von Produktionsanlagen, Minimierung der Stillstandszeiten oder Reduzierung von Instandhaltungspersonal, notwendig klare Aussage über den Anlagenzustand möglich. Nur mit einer Zustandsüberwachung ist die Voraussetzung für eine zustandsbezogene Instandhaltung gegeben, die eine weitestgehende Verplanmäßigung der Instandhaltungsaufgaben und -maßnahmen ermöglicht.

Anhand zweier Anwendungsfälle der Diagnose von Antrieben (Schaufelradantriebe am Schaufelradbagger im Tagebau) sollten die Ergebnisse der Schwingungsüberwachung vorgestellt und diskutiert werden.

2. Mittel und Methoden der Technischen Diagnostik

Die angewendeten Mittel und Methoden der Technischen Diagnostik werden von der Art und von dem Funktionsprinzip der

Verschleißteile in den Motoren, Getrieben und Trommel- sowie Schaufelradlagern bestimmt. Die sogenannten Verschleißteile sind in diesem Fall im wesentlichen Wälzlager, Kupplungen und Zahnradpaarungen, d.h., drehmomentaufnehmende und -übertragende Bauteile.

Damit liegt der Einsatz der Überwachung von Diagnoseparametern nahe, die aus der Schwingungstechnik abgeleitet werden. Es stehen damit nicht nur Diagnoseparameter für Verschleiß- und Ermüdungserscheinungen in den genannten Bauteilen zur Verfügung, sondern auch Bewertungskriterien für das Laufverhalten der einzelnen Wellen bezüglich Unwucht, Ausrichtung und Befestigung der Antriebseinheiten. Da sich die Aufnahme, die Speicherung und die Auswertung der Schwingungssignale in der Regel schwierig erweist, werden vor Beginn der Untersuchung definierte, aus der Literatur bekannte und bei vergleichbaren Maschinen erfolgreich angewendete Signalparameter festgelegt, die mit Hilfe eines Datenanalysators vor Ort erfaßt und gespeichert werden. Die Auswertung der Schwingungsdaten erfolgt im Diagnoselabor.

Die in Tab. 1 aufgeführten Diagnoseparameter wurden für die einzelnen Bauteile in Abhängigkeit von ihrer Drehzahl ausgewählt. Diese Schwingungsparameter, die mit Hilfe der modernen Diagnosetechnik exakt und mit einem vertretbaren Aufwand erfaßt werden können, charakterisieren sehr präzise die Laufeigenschaften der Wellen, der Lager, der Kupplungen und der Zahnradpaarungen. Voraussetzung dafür ist die Einrichtung von Meßpunkten an den Lagerstellen des Maschinengehäuses, so daß sich der Meßadapter möglichst nahe am Lager der jeweiligen Welle befindet. Dies ist in den meisten Fällen in vertikaler Meßrichtung gut möglich. Darüber hinaus werden die Kraftwirkungen der Wellenbewegung durch Meßstellen in horizontaler und axia-

Motor	Getriebe	Schaufelradlager	Bandtrommellager
Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit (DIN ISO 10816)	Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit (DIN ISO 10816)	Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit (DIN ISO 10816)	Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit (DIN ISO 10816)
Frequenzanalyse der Schwinggeschwindigkeit im niederfrequenten Bereich	Frequenzanalyse der Schwinggeschwindigkeit im niederfrequenten Bereich	hochauflösende Frequenzanalyse der Schwinggeschwindigkeit im niederfrequenten Bereich	Frequenzanalyse der Schwinggeschwindigkeit im niederfrequenten Bereich
	Effektivwert der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich	Effektivwert der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich	Effektivwert der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich
	Peak-Peak-Wert der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich	Peak-Peak-Wert der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich	Peak-Peak-Wert der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich
Frequenzanalyse der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich	Frequenzanalyse der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich	Frequenzanalyse der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich	Frequenzanalyse der Schwingbeschleunigung im höherfrequenten Bereich
Lagerdefektfaktor		Analog Signalaufzeichnung der Schwingbeschleunigung	

Tab. 1: Schwingungsparameter zur diagnostischen Untersuchung

Tab. 1: Oscillation parameters for diagnostic tests

ler Meßrichtung über weitere Meßadapter erfaßt.

Können Lagerstellen nicht erreicht werden, so besteht die Möglichkeit entsprechende Diagnoseparameter durch einen stationär installierten Sensor zu gewinnen. In den Diagnosemodulen befindet sich eine Übergabebuchse. Über diese erfolgt die Stromspeisung des Sensors und die Signalabnahme beim Meßvorgang.

Nach der Definition der Diagnoseparameter, die im Verlauf der Untersuchungen auch an neue Erkenntnisse angepaßt werden können, der Festlegung und der Montage der Meßadapter wird die Basisuntersuchung der betreffenden Maschinen durchgeführt. Während der Basisuntersuchung wird die Maschine unter typischen Lastbedingungen gefahren. Werden üblicherweise mehrere Lastzustände technologisch benötigt, so sind für jeden Lastzustand Basisdaten zu ermitteln.

Ein charakteristischer Zeitpunkt für die Basisuntersuchung ist dann, wenn eine Maschine neu installiert wurde und die Einfahrphase bereits ausgeführt ist. Aber auch zu jedem späteren Zeitpunkt ist entsprechend den Erfordernissen eine Grunduntersuchung möglich. Treten zu diesem Zeitpunkt schon Fehler im Laufverhalten der Maschine auf, können die Daten auf der Grundlage von Beispieldateien trotzdem ausgewertet und beurteilt werden.

Die zu untersuchenden Laufeigenschaften und die damit verbundenen Ursachen für ein eventuelles unzulässiges Laufverhalten sind für das Beispiel eines Schaufelradantriebes in Tab. 2 dargestellt.

Bauteil	Untersuchung der Laufeigenschaften
Motor	<ul style="list-style-type: none"> • Verschleißbedingte Unwuchten der Kupplung zwischen Motor und Getriebe • Kupplungsausrichtung zwischen Motor und Getriebe • Abrollverhalten der Motorlager einschließlich Schmierzustand
Getriebe	<ul style="list-style-type: none"> • Laufverhalten der Getriebelager • Zustand der Verzahnung • Abrollverhalten der Zahnradpaarung • Bewertung der Schmiermittelwirkung
Schaufelradlagerung	<ul style="list-style-type: none"> • Tendenz des Abrollverhaltens der Lager

Tab. 2: Schwingungsdiagnostisch zu überwachende Bauteile auf Laufeigenschaften des Graborgans an Schaufelradbaggern

Tab. 2: Structural parts to be monitored by diagnostic oscillation tests to determine operating properties of digging element on bucket wheel excavator

3. Schwingungsdiagnostische Untersuchung an Schaufelradantrieben

3.1 Diagnose von Schadensmerkmalen an der Verzahnung der Abtriebsstufe

Das Schaufelradgetriebe am SRs 1300 ist ein fünfstufiges Kegelrad-Stirnradgetriebe mit einer Eingangsdrehzahl von 1480 U/min und einer Ausgangsdrehzahl von wahlweise 4,5 bzw. 6,4 U/min bei einer Antriebsleistung von 400 kW. Entsprechend dem Aufbau des Getriebes wurden Meßadapter zur Signalerfassung an allen Lagerstellen des Getriebes eingerichtet (Abb. 1). Durch eine Basisuntersuchung wurden alle genannten Meßparameter an dem Getriebe im wieder aufgearbeiteten Zustand (Lagerung und Zahnräder) unter Lastbedingungen erfaßt und dokumentiert. Die Folgeuntersu-

chungen wurden im Abstand von 3 Monaten regelmäßig durchgeführt.

Nach rd. 1 Jahr Betriebsdauer wurden aufgrund der gestiegenen Signalanteile der Kegelradstufe (2. Übersetzungsstufe) erste Instandhaltungsmaßnahmen notwendig, die aber ohne Demontage des Getriebes durchgeführt wurden. Nach über 2 Jahren Einsatzzeit des Getriebes wurde im Bereich der Wellen 5 und 6 (Meßstellen 11 bis 14) eine Tendenz der 12,5 Hz-Komponenten über einen Zeitraum von 10 Monaten festgestellt). Darüber hinaus wurden an den betreffenden Meßstellen ebenfalls gegenüber den Effektivwerten erhöhte Spitzenwerte der Schwingbeschleunigung registriert, die auf eine Verschlechterung des Abrollverhaltens der Zahnradpaarungen schließen ließen. Weiterhin wurden im Bereich der Getriebeeingangswelle überhöhte Spitzenwerte und Effektivwerte der Schwingbeschleunigung beobachtet, die eine Verschlechterung der Drehmomentübertragung durch die erste Übersetzungsstufe anzeigten.

Abb. 1: Meßstellenplan für das Schaufelradgetriebe SRs 1300

Fig. 1: Plan of measuring points for bucket wheel gearing on excavator SRs 1300

Aufgrund dieser Beobachtungen wurde ein Austausch des Getriebes empfohlen. Die nachfolgende Demontage des Getriebes brachte folgende Ergebnisse:

1. Am Ritzel der 1. Übersetzungsstufe wurde ein Zahnausbruch über rd. der 1/2 Zahnbreite festgestellt (Abb. 2).
2. Am getriebenen Zahnrad der letzten Übersetzungsstufe wurden eine starke Pittingbildung, Ausflußerscheinungen des Obermaterials auf der Zahnflanke und Ausschleiferscheinungen im Zahngrund als Verschleiß- und Ermüdungserscheinungen registriert (Abb. 3).

Mit diesem Schadensbild wurden die Aussagen der diagnostischen Untersuchungen und Trendabschätzungen voll und ganz bestätigt. Ebenfalls zeigt sich dadurch die Richtigkeit der gewählten Meßpunkte und der Diagnoseparameter. Der Diagnosezyklus kann als der Aufgabe angemessen betrachtet werden.

Das zum Zeitpunkt der Basisuntersuchung vom Zustand der Lager und Zahnpaarungen als regeneriert eingeschätzte Getriebe konnte unter Einsatz der Mittel und Methoden der Technischen Diagnostik fast 2 1/2 Jahre ohne nennenswerten Instandhaltungsaufwand sowie ohne kostenintensive Spontanausfälle unter allen geforderten Lastvorgaben

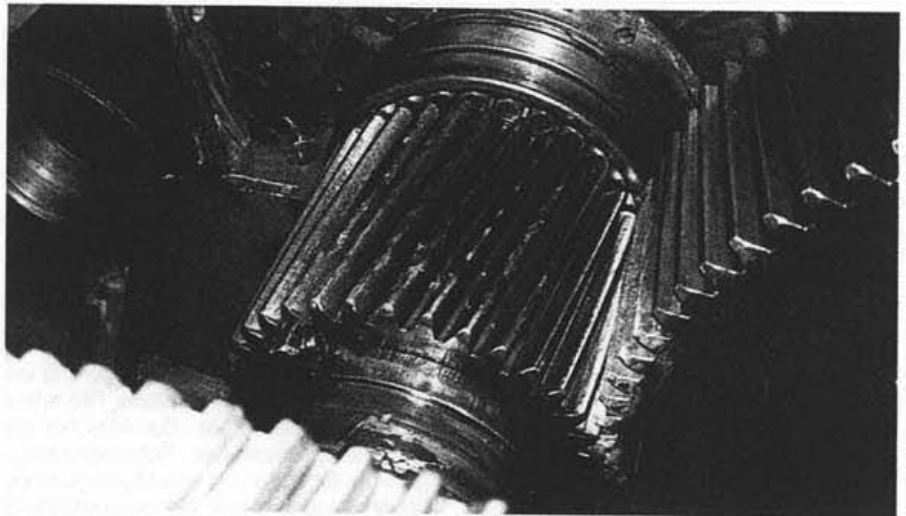
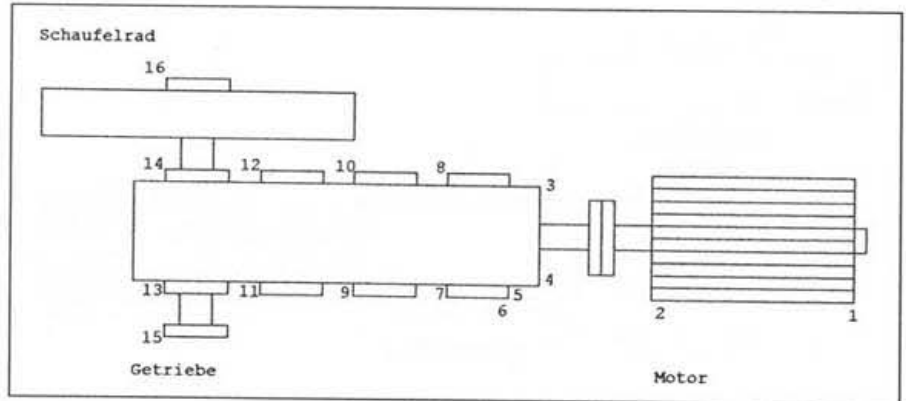
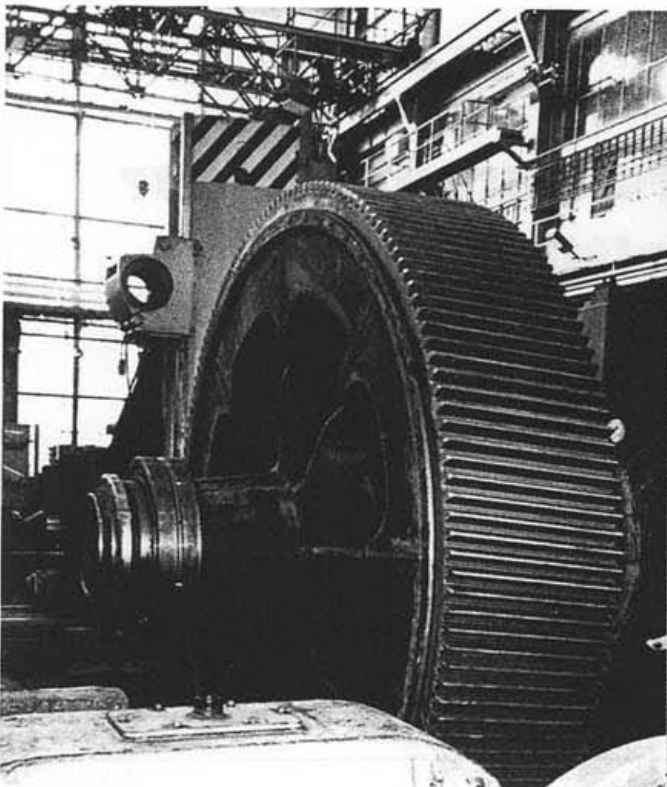


Abb. 2: Ritzel der 1. Übersetzungsstufe mit Zahnausbruch
 Fig. 2: Pinion of 1st transmission step with flaking on tooth

Abb. 3: Zahnrad der 5. Übersetzungsstufe mit starker Pittingbildung

Fig. 3: Gear wheel of 5th transmission step with extensive pitting



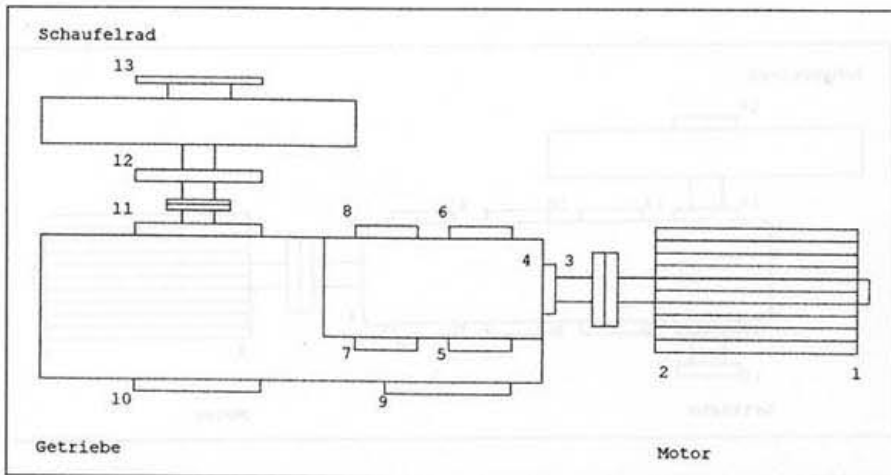


Abb. 4: Meßstellenplan am Schaufelradantrieb des Baggers 1529 SRs 400 zur schwingungsdiagnostischen Überwachung

Fig. 4: Plan of measuring points on bucket wheel drive of excavator 1529 STs 400 for purpose of monitoring oscillation by diagnostic tests

gefahren werden. Damit wurde die bisher übliche Einsatzzeit des Getriebes ohne Erhöhung des Ausfallrisikos um fast 6 Monate überschritten. Der Wechsel des Getriebes fand in einem geplanten Stillstand statt, so daß keine außerplanmäßigen Produktionsausfälle zu verzeichnen waren.

3.2 Diagnose eines Schadens am Schaufelradlager

Bei der überwachten Antriebseinheit des Schaufelradbaggers 1529 handelt es sich um einen 320 kW Antriebsmotor, um ein Planetenradgetriebe mit Kegelradstufe als Eingangsstufe und zwei Pendelrollenlager, wovon das getriebeseitige Lager

als geteiltes Pendelrollenlager ausgeführt ist. Die Meßstellenverteilung entspricht den konstruktiven Anforderungen dieser Ausführung der Antriebseinheit (Abb. 4).

Im Rahmen planmäßiger Inspektionsmaßnahmen wurde am sichtbaren Teil des Außenringes des geteilten Pendelrollenlagers der Schaufelradverlagerung ein Riß festgestellt. Der weitere Rißverlauf war nicht detektierbar. Zur Absicherung der Verfügbarkeit des Schaufelradbaggers bis zur Lieferung und Montage eines neuen Lagers dieser Sonderausführung entschloß man sich zum Weiterbetrieb mit zyklischer (14-tägig) schwingungsdiagnostischer Überwachung.

Während dieses Überwachungszeitraumes wurden verschiedene Belastungszu-

stände des Baggers, wie z.B. Abraumschnitt oder Kohleschnitt, gefahren, für die jeweils Referenzsignale des Schwingungszustandes am Schaufelradlager sowohl im Bereich Schwinggeschwindigkeit als auch im Bereich Schwingbeschleunigung aufgezeichnet wurden.

Als Resultat der durchgeführten Sonderüberwachung wurde über die Betriebszeit des defekten Schaufelradlagers in Abhängigkeit von Schnittbedingungen keine wesentliche bzw. sprunghafte Veränderung des Lagerzustandes festgestellt, so daß die Verfügbarkeit des Großgerätes mit den eingesetzten Mitteln der Technischen Diagnostik hinreichend genau abgesichert werden konnte, ohne daß eine Folgeschädigung bezüglich des Getriebes oder der Konstruktion befürchtet werden mußte.

4. Zusammenfassung

Anhand zweier praktischer Beispiele wurde dargestellt, daß man mit Mitteln der Technischen Diagnostik in der Lage ist,

- Schädigungen zu erkennen und hinreichend zuzuordnen, und
- Schadensverläufe dahingehend zu begleiten, daß man Risiken von Folgeschäden bei Beibehaltung des Betriebes weitestgehend reduziert bzw. ausschließt.

Damit sind dem Anwender Werkzeuge zur Verfügung gestellt, die dem Konzept einer "Instandhaltung nach Maß" genügen. Die Basis dazu bildet die Kommunikation zwischen Betreiber, Instandhalter und Diagnostiker.

Professional Users Handbook for Rock Bolting

Second Edition

B. STILLBORG, SWEDEN

1994, 176 pages, 80 figures & tables, ISBN 0-87849-094-9
Series on Rock & Soil Mechanics Vol. 18 (1994)
US\$ 30.00 / Euro 30.00 + postage & handling

Zu beziehen über:

Trans Tech Publications

CH-8707 Zurich-Uetikon • Switzerland • Fax: +41 1 922 10 33