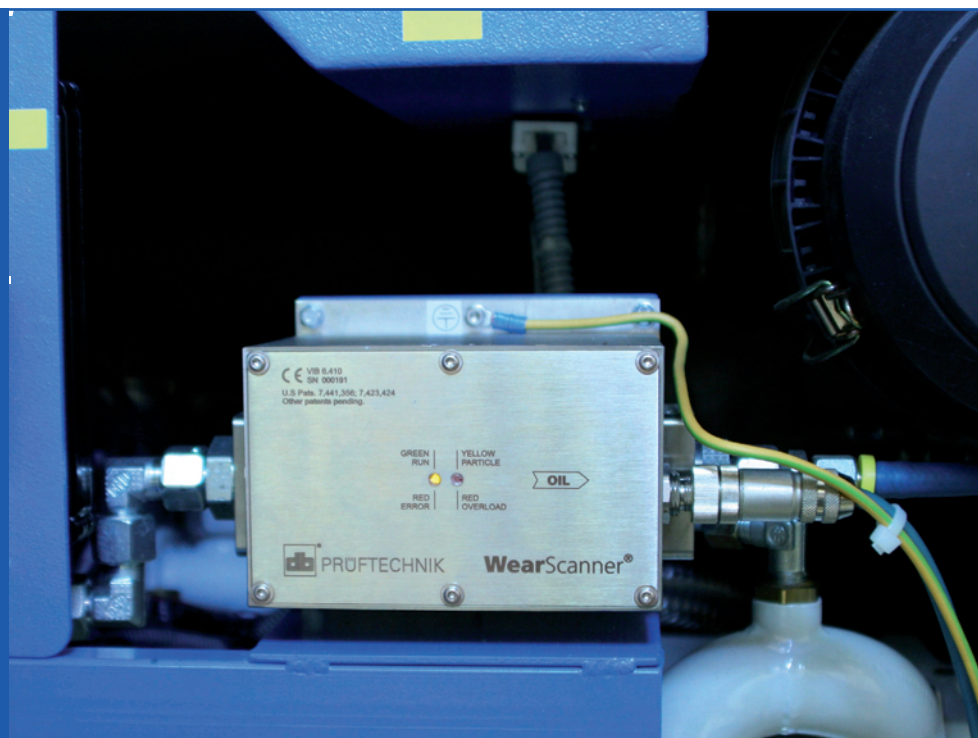




# Online monitoring of wear particles Verschleißpartikel online überwachen

VGB PowerTech 9/2011  
antriebstechnik 7/2011

**Dr. Edwin Becker**  
PRÜFTECHNIK Condition Monitoring



## 2 Measurement and online monitoring of wear particles Verschleißpartikel messen und online überwachen

Wear in machines and gearboxes “produces” metallic parts that are transported in the oil circuit and can permanently cause damage to the machine components. This problem can be identified through online monitoring of the particle size distribution in the oil, a procedure that supplements vibration-based Condition Monitoring, especially in low-speed roller bearings and gearboxes. Every rotating machine is subject to (natural) frictional wear. Wear initially leads to a low number of small particles. This number gradually increases and particle size ultimately begins to grow. While this process can be slowed by lubrication and bypass filtration, for example, it cannot be arrested completely since every machine ages. Thus, the particle counting contains valuable information on the current machine condition and degree of wear. Very early wear information can be obtained by monitoring not only the number of coarse wear particles, but also by monitoring the particle distribution. PRÜFTECHNIK has developed a particle size distribution sensor on the basis of its proven eddy current technology that can be used to monitor wear particles online in gear lubricating oil in terms of their size.



Fig. 1: Magnets can be used to detect contamination of oil through metal particles.

Abb. 1: Mittels Magneten lässt sich die Verschmutzung des Öls durch metallische Partikel detektieren



Fig. 2: WEARSCANNER particle size distribution counter

Abb. 2: WEARSCANNER Partikelverteilungszähler

Dr. Edwin Becker

PRÜFTECHNIK Condition Monitoring GmbH, Head of Service & Diagnostic Center, Ismaning, Germany

Jede rotierende Maschine erzeugt durch Reibung Verschleiß. Durch Verschleiß entstehen zuerst sehr kleine Partikel, dann immer mehr von ihnen bis schließlich auch die Partikelgröße zunimmt. Durch Ölpflege und weitere Maßnahmen, wie beispielsweise Nebenstromfiltration, lässt sich dieser Prozess verzögern, jedoch nicht aufhalten, da jede Maschine altert. Demzufolge enthält die Partikelmenge wertvolle Informationen zum Maschinenzustand und zum Verschleißgrad. Sehr frühzeitige Verschleißinformationen erhält man, wenn nicht nur die Partikelmenge, sondern auch die Partikelgrößenverteilung online überwacht wird. PRÜFTECHNIK hat auf Basis einer eigenen Wirbelstromprüftechnologie einen Sensor entwickelt, mit dem sich Verschleißpartikel im Schmieröl beispielsweise von Getrieben online größenabhängig überwachen lassen.

### 1. Condition Monitoring Verfahren

Condition Monitoring ist die Ermittlung und Interpretation von Zustandsinformationen über Maschinen, Anlagen und deren Komponenten. Grundsätzlich ist zwischen der Überwachung der Schmierölversorgung und des Schmierstoffes, der Überwachung und Diagnose von Betriebs- und Schwingungszuständen [1] und der Überwachung von Betriebsbelastungen und Antriebsbeanspruchungen zu unterscheiden [2]. Durch Verschleiß bedingte Zustandsveränderungen lassen sich während des Betriebs über Maschinenschwingungen, über Ölanalysen und neu auch über Partikelzähler verfolgen.

#### 1.1 Ölqualitäten

Um Veränderungen in der Ölqualität online zu erkennen, versucht man multisensoriell Informationen von unterschiedlichen physikalischen Ölkenngößen zusammenzufassen und den jeweiligen Ölzustand abzuleiten. Beispielsweise werden bei Hydraulikflüssigkeiten zugleich die Viskosität, die elektrischen Eigenschaften und der Wassergehalt gemessen und in der Veränderung bewertet. Dies genügt jedoch nicht bei Hochleistungsgetrieben. Hier wäre es sinnvoll, einen Ölqualitätssensor zu haben, mit dem sich sowohl die Schmierstoffeigenschaften als auch der Additivgehalt online überwachen lassen. So werden bei CLP-Getriebeölen mehrere Additivpakete eingesetzt, welche die physikalischen Eigenschaften des Ölfilms verbessern (Viskositätsverbesserer, Stockpunktverbesserer, Schaumdämpfer und Dispersants), die chemischen Eigenschaften des Öls verbessern

### 1. Condition Monitoring procedure

Condition Monitoring is the process of collecting and interpreting information on the condition of machines, plants and their components. It can be differentiated into the following main areas:

- Monitoring of the lubricant supply system and the lubricant itself
- Monitoring and diagnosis of operating and vibration conditions [1] and
- Monitoring of operating and drive loads [2].

Condition changes due to wear can be monitored during machine operation using machine vibrations, oil analyses and, now, particle counting.

#### 1.1. Oil quality

The current method to detect changes in oil quality is to pool information from a variety of sensors that measure different physical oil properties and use this information to draw conclusions on the oil condition. For example, in hydraulic fluids, the viscosity, electrical properties and water content are measured and changes in the values are evaluated. However, this method is not adequate for high power gearboxes. For these machines, it would be more useful to employ an oil quality sensor

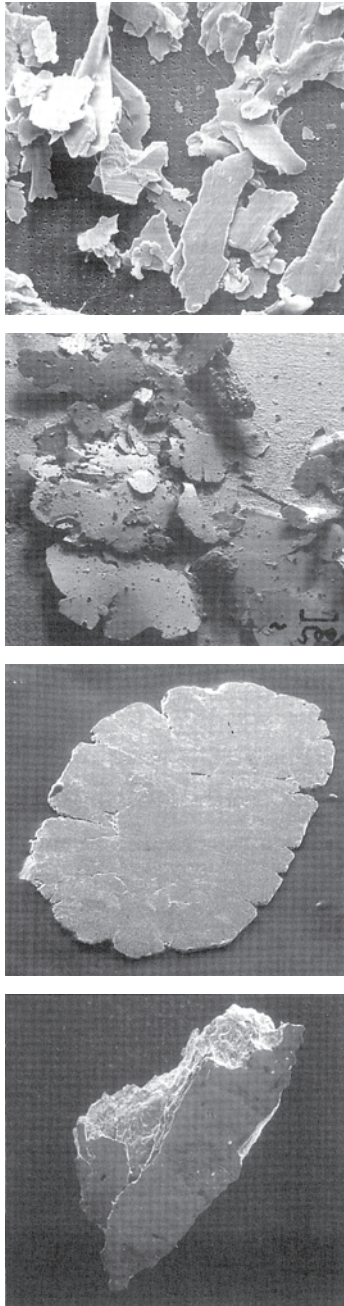


Fig. 3: Wear initially results in a few and later in many small particles. The particle size then begins to increase. This can result in damage to the machine or gearbox.

Abb. 3: Durch Verschleiß entstehen zunächst einige, dann viele kleine Partikel, bis die Partikelgröße zunimmt. Dadurch können Schäden an der Maschine oder dem Getriebe entstehen.

Images from/Abbildungen aus:  
 Jantzen: Z. Tribologie und Schmierungstechnik,  
 published: 5/2003

that monitors the lubricant properties and additive content online. Several additive packages are used with CLP gear oils to enhance the physical properties of the oil film (viscosity enhancers, pour point improvers, antifoaming agents and dispersants), to improve the oil's chemical properties (antioxidants and detergents), and to change the chemical and physical properties of the friction surface (EP and AW additives). EP stands for extreme pressure agent. Its task is to prevent wear and fretting under high loads. AW (AntiWear) additives are added to the lubricant to reduce abrasive wear under moderate and stationary loads. Unfortunately, these wear-reducing and load-increasing high-pressure additives degrade at different rates. This forces the operator to change gear drive lubricating oils on a time schedule, unless he has the possibility to monitor wear online on the basis of the particle size distribution.

The development of an online particle distribution counter must meet the following requirements:

- Size-dependent counting and detection of particles that indicate a deterioration in condition
- Classification of particle sizes into selectable classes and time periods directly in the sensor
- Use of a measurement procedure that measures electrically conductive particles only and is not sensitive to foam, air bubbles, contamination, additives or darkening
- Operation as an online sensor with integrated signal processing
- Autonomous working method and optional signalization

### 1.2. Oil purity

Particulate contamination in lubricating fluids is classified in terms of contamination classes. In the ISO 4406/1999 standard, the particles counted per 100 ml of fluid are cumulatively added in the respective particle size ranges. The ISO code specifies the maximum particle counting in each case. This code is defined for each particle size range and yields the contamination class of the oil.

(Antioxidantien und Detergentien) und Additive, welche die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Reiboberfläche verändern (Extreme-Pressure- (EP-) und Anti-Wear- (AW-) Additive). EP-Additive sollen Verschleiß und Fressen bei hoher Beanspruchung verhindern. AW-Additive werden dem Schmierstoff zugesetzt, um abrasiven Verschleiß bei mäßiger und stationärer Beanspruchung zu mindern. Doch diese verschleißmindernden und belastungserhöhenden Hochdruckzusätze verbrauchen unterschiedlich schnell. Damit ist der Anwender gezwungen, Schmieröle z.B. von Zahnradgetrieben zeitbezogen zu wechseln, außer er bekommt eine Möglichkeit, den Verschleiß online über die Partikelgrößenverteilung zu überwachen.

Daraus ergeben sich folgende Entwicklungsanforderungen an einen Partikelgrößenverteilungszähler:

- Größenabhängiges Zählen und Erkennen von Partikelmengen, die eine Zustandsverschlechterung bedeuten
- Klassieren der Partikelgrößen in wählbaren Klassen und Zeiträumen bereits im Sensor
- Verwenden eines Messverfahrens, das nur elektrisch leitende Partikel erfasst, und nicht durch Schaum-, Luftpneinschlüsse, Verunreinigungen, Additive oder Verdunkelungen gestört wird
- Ausführung als Online-Sensor mit integrierter Signalverarbeitung
- Autarke Arbeitsweise und optional mit Signalisierung.

### 1.2 Ölrreinheitsklassen

Die Feststoffverschmutzung von Schmierölen wird meist über Ölproben durch sogenannte Reinheitsklassen klassifiziert. Bei der Klassifizierung nach ISO 4406/1999 werden die gezählten Partikel je 100 ml Flüssigkeit kumulativ den jeweiligen Partikelgrößenbereichen zugeordnet und sogenannte ISO-Codes (Reinheitsklasse) gebildet. Dieser Code wird für jeden Partikelgrößenbereich neu bestimmt und gibt die jeweilige maximale Partikelanzahl an. Einige Hersteller von Getrieben fordern unter Betrieb das Einhalten definierter Ölrreinheitsklassen und wollen vorzeitige Schäden

Table1: Particle size classes according to ISO 16232  
 Tabelle1: Nach ISO 16232 lassen sich verschleiß- und schadensbedingt Partikel in die Größenklassen B bis K einteilen.

Class/Klasse	Size classes covered by WEARSCANNER® Von WEARSCANNER® abgedeckte Größenklassen										
	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Size/Größe	5–15µm	15–25µm	25–50µm	50–100µm	100–150µm	150–200µm	200–400µm	400–600µm	600–1000µm	>1000µm	

# 4 Measurement and online monitoring of wear particles

## Verschleißpartikel messen und online überwachen

Some gear manufacturers require the adherence to defined oil purity classes during operation and aim to detect premature damage on the basis of purity classes. However, specialists advise using this method cautiously [3], [4]. Oil purity classes are often only an indicator of the effectiveness of filtration and not of the current gearbox condition.

Wear or damage-related particles in damaged gearboxes that are larger than 16  $\mu\text{m}$  (as per ISO 4406) or larger than 70  $\mu\text{m}$  (as per SAE AS4059:2001) are not taken into consideration in the oil purity classes. Only ISO 16232 makes it possible to distribute wear and damage-related particles into the B-K classes on the basis of size (Table 1). But what wear particle quantities are permissible in gear drive lubricating oils?

### 1.3. Particle counts

There are different approaches on the market for detecting, measuring and assessing wear in machines and systems. Apart from visual tests and oil analyses, simple methods of checking wear are filter examinations and checking contamination on a magnet (Figure 1) under operating conditions.

Weight measurements during test runs are another possibility to determine the degree of wear. For example, they provide the information that, over the course of the test run, there was a 20 g loss in weight, resulting in 20 g of wear and/or metal wear debris. The subsequent evaluation should also show how many particles are contained in the wear debris, classified by size. Theoretically, for example, 20 g of

metal wear debris could mean around 4.8 million particles with a diameter of 100  $\mu\text{m}$  or 5000 particles with a size of 1 mm (Table 2).

In force-lubricated gearboxes, it would theoretically be possible to determine particle quantities from the weight increase of the oil filter cartridge. However, it is very difficult to remove the metal wear debris from the oil filter cartridge, separate it and count its particle size distribution. With the WEARSCANNER (Figure 2), the particle quantity and size that the oil filter must absorb can be measured online.

### 2. Monitoring and evaluating wear

Machines wear is caused by component faults and damage, and by particles in the oil (Figure 3). Wear particles are created

How many particles are in xx grams of wear?		
Particle size classes according to ISO 16232	Particle size in $\mu\text{m}$	Number of particles per 1 g of iron up to
E	50 – 100	2,000,000
F	100 – 150	240,000
G	150 – 200	72,000
H	200 – 400	30,000
I	400 – 600	3,800
J	600 – 1000	1,100
K	> 1000	250

i. e. 20 g of wear consist of 4.800.000 particles at 100  $\mu\text{m}$  particle size or of 5.000 particles at 1 mm particle size.

Table 2: The particle size classification in microns and the number of particles per 1 g wear.

Wieviele Partikel sind in xx Gramm Abrieb?		
Partikelgrößenklasse nach ISO 16232	Partikelgröße in $\mu\text{m}$	Anzahl Partikel pro 1g Eisen bis zu
E	50 – 100	2.000.000
F	100 – 150	240.000
G	150 – 200	72.000
H	200 – 400	30.000
I	400 – 600	3.800
J	600 – 1000	1.100
K	> 1000	250

Bsp: 20g Abrieb bestehen aus 4.800.000 Partikel bei 100  $\mu\text{m}$  Partikelgröße oder aus 5.000 Partikel bei 1 mm Partikelgröße.

Tabelle 2: Die PartikelgröÙeneinteilung der GröÙenklassen in  $\mu\text{m}$  sowie die Anzahl von Partikeln, die sich pro GröÙenklasse maximal in 1 g Abrieb befinden.

anhand der Reinheitsklassen erkennen. Spezialisten raten jedoch zu Vorsicht bei der Anwendung [4], [5]. So stellen Ölrreinheitsklassen oft nur ein Kriterium für die Wirksamkeit der Filtration und nicht für den aktuellen Zustand des jeweiligen Getriebes dar.

Verschleiß- oder schadensbedingte Partikel in vorgeschädigten Getrieben, die größer 16  $\mu\text{m}$  (bezogen ISO 4406) oder größer 70  $\mu\text{m}$  sind (bezogen SAE AS4059:2001), werden bei den Ölrreinheitsklassen überhaupt nicht berücksichtigt.

Nur ISO 16232 ermöglicht es, verschleiß- und schadensbedingte Partikel gröÙenabhängig in die Klassen B bis K einzuteilen (Tabelle 1). Doch welche Mengen an Verschleißpartikeln sind z.B. in Schmierölen von Zahnradgetrieben zulässig?

### 1.3 Partikelmengen

Es gibt im Markt unterschiedliche Ansätze, um Verschleiß an Maschinen zu erkennen, zu messen und einzuschätzen. Neben der visuellen Prüfung und neben Ölanalysen stellen unter Betriebsbedingungen Filterkontrollen und Kontrollen der Verschmutzung am Magnet (Abbildung 1) einfache Möglichkeiten zur Verschleißerfassung und Zustandsbewertung dar. Massenbilanzen sind bei Testläufen eine weitere Möglichkeit, um den Verschleißgrad zu ermitteln. Man erhält dann die Information, dass man nach Abschluss des Testlaufes z.B. 20 g Massenverlust und somit 20 g Verschleiß oder Metallabrieb hatte.

Bei der anschließenden Auswertung möchte man gern auch wissen, wie viele Partikel in welcher Partikelgröße im Abrieb enthal-

ten sind. So könnten 20 g Metallabrieb theoretisch etwa 4,8 Mio. Partikel von 100  $\mu\text{m}$  Durchmesser oder etwa 5000 Partikel von 1 mm Partikelgröße bedeuten (Tabelle 2). Bei druckumlaufgeschmierten Getrieben könnte man Partikelmengen aus der Gewichtszunahme der Ölrfilterpatrone ermitteln. Den Metallabrieb nachträglich aus der Ölrfilterpatrone herauszulösen, zu separieren und gröÙenabhängig zu zählen, ist allerdings schwierig. Mit dem in Kapitel 3 beschriebenen WEARSCANNER (Abbildung 2) lässt sich die Partikelmenge, die der Ölrfilter aufzunehmen hat, vorher gröÙenabhängig online erfassen.

### 2. Verschleiß und Abrieb überwachen

Maschinen verschleißt einerseits durch Komponentenfehler und -schäden, ande-

by abrasion, cavitation, adhesion, corrosion, misalignment and use of the wrong oil. The wear processes themselves are characteristic of the particular machines and components and depend on the load. They change in the course of the operating period, lead to secondary damage and increase disproportionately after reaching a certain magnitude until the component fails or comes to the end of its service life.

So-called micro pittings (gray staining) in case-hardened gearing are a preliminary wear stage. Initially, small surface cracks of approximately 10  $\mu\text{m}$  appear, and eventually small particles begin to break away. These are taken up by the oil and distributed in the gear.

This process is similar in roller bearings. Material abrasion in cylindrical roller

bearings, for example, reduces the rolling element diameter. The wear debris is taken up by the oil, rolled through other roller bearings until still larger particles break out of the raceway of the „weakest“ roller bearings due to fatigue. This results in flaky particles about 50  $\mu\text{m}$  in size.

To detect progressive wear at an early stage, the following wear phases should be differentiated on a machine-specific basis by monitoring the particle size distribution:

- Normal wear (particles are small and few in number)
- Increase in micro wear, with an increase in particle size and quantity
- Formation of larger particles
- Increase in macro wear; appearance of the first coarse particles
- Unallowably high level of wear; ad-

ditional components are damaged and cause abrasion.

Figure 4 shows the characteristic wear diagrams.

Wear processes can be tracked by monitoring the particle count as a function of the particle size. Quantitatively, purely case-hardened planetary gears have a different characteristic diagram than planetary gears with naturally hard ring gears with inner teeth.

When (machine-specific) warning and alarm conditions are reached with the WEARSCANNER, oil samples should be taken and analyzed. Oil laboratories offer this type of oil analysis at a reasonable price and also make it possible to examine the reasons for the increase in particle content [4].

### Particle size distribution in oil

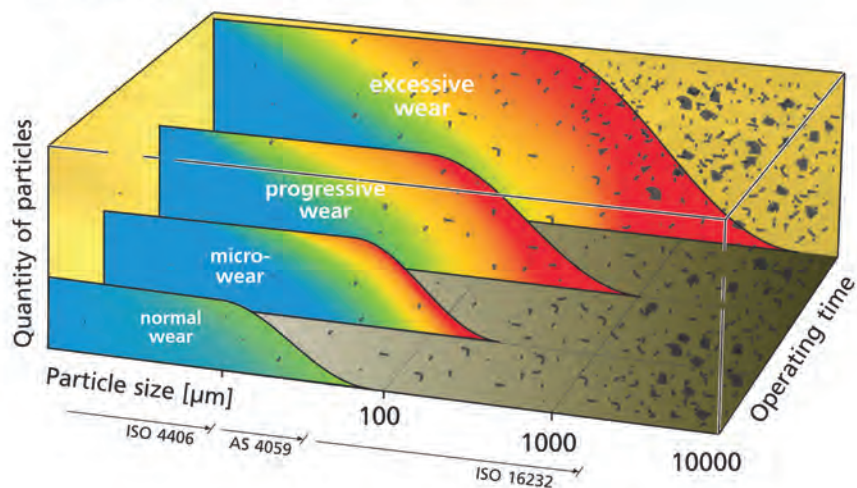


Fig. 4: Wear rates and particle size distributions change with the operation time  
 Abb. 4: Verschleißkennfelder: Die Partikelgrößenverteilung im Öl – Anzahl der Partikel und deren Größe

rerseits durch Partikel produzierenden Verschleiß (Abbildung 3). Verschleißpartikel entstehen durch Abrasion, Kavitation, Adhäsion, Korrosion, Fehlausrichtung und durch falsches Öl. Die Verschleißprozesse selbst wirken maschinen- und komponentenspezifisch, sind abhängig von der Beanspruchung, verändern sich über die Betriebsdauer, initiieren Folgeschäden und verstärken sich ab einem gewissen Grad überproportional bis zum Ausfall oder dem Lebensdauerende.

Eine Vorstufe zum Verschleiß stellen bei einsatzgehärteten Verzahnungen sogenannte Mikropittinge (Graufleckigkeit) dar. Zuerst bilden sich kleine Oberflächenrisse, dann werden erste kleine Partikel von etwa 10  $\mu\text{m}$  Größe herausgelöst, vom Öl aufgenommen und im Getriebe verteilt.

Ähnlich verhält es sich bei Wälzlagerungen. Durch Materialabrieb verringert sich z.B. bei vollrolligen Zylinderrollenlager der Wälzkörperdurchmesser. Der Abrieb wird vom Öl aufgenommen, von anderen Wälzlagern wieder überrollt, bis durch Ermüdung auch größere Partikel in den Laufspuren der „schwächsten“ Wälzlager ausbrechen. Es entstehen plättchenförmige Partikel von etwa 50  $\mu\text{m}$  Größe.

Um progressiven Verschleiß frühzeitig zu erkennen, sollte maschinenspezifisch durch Überwachen der Partikelgrößenverteilung zwischen folgenden Verschleißphasen unterschieden werden:

1. Normaler Verschleiß (sehr kleine Partikel)
2. Zunahme des Mikroverschleißes – Partikelgröße und –menge steigt,

3. Entstehen größerer Partikel
4. Zunahme des Makroverschleißes, es entstehen erste grobe Partikel
5. Unzulässiger Verschleiß; weitere Komponenten werden geschädigt und erzeugen Abrieb

Abbildung 4 veranschaulicht Verschleißkennfelder. Durch Überwachen der Partikelanzahl in Abhängigkeit von der Partikelgröße lassen sich Verschleißvorgänge verfolgen. Quantitativ ist natürlich zu beachten, dass rein einsatzgehärtete Planetengetriebe ein anderes Kennfeld haben als Planetengetriebe mit naturharten innen verzahnten Hohlrädern.

Werden dann mit WEARSCANNER (maschinenspezifische) Warn- und Alarmzustände erreicht, sollten im ersten Schritt Ölproben analysiert werden. Öllabors bieten

# 6 Measurement and online monitoring of wear particles Verschleißpartikel messen und online überwachen

## 3. WEARSCANNER particle size distribution counter

### 3.1. The measurement principle

When current passes through a coil of conducting wire, field lines are generated that concentrate on the inside of the coil. This gives rise to a homogenous and directional field. If the current in the conductor is an alternating current, an alternating electromagnetic field is generated. This is the principle behind the eddy current excitation coil (Figure 5).

If electrically conductive particles are now exposed to the alternating electromagnetic field of the testing coil, this results in a pulsing electrical voltage in the particle, which generates a current in electrically conductive particles. This eddy current, in turn,

generates a mirrored field, which can be detected with a smaller receiver coil. The amplitude of the signal depends on the size and type of the particle (Figure 6). The effect of the flowing particle speed is negligible.

To be able to measure very small particles, the receiver coil in the WEARSCANNER employs the differential coil principle. In this design, two coils are wound in opposite directions to detect abrupt changes in particle size distribution. A signal processor with demodulation integrated in the sensor is needed to differentiate between particle sizes. Electrically conductive particles effectively represent obstacles that interrupt the flow of current between the excitation and receiver coils and thus lead to a demodulation.

The WEARSCANNER operates auto-

mously and measures in real-time. It is suitable for an ambient temperature range from  $-20^{\circ}\text{C}$  to  $+80^{\circ}\text{C}$ . The equipment is housed in a cast stainless steel enclosure that is specified for pressures up to 16 bar. LEDs indicate the system functions and particle flow. The WEARSCANNER provides  $\frac{1}{2}$  pipe connections, lightning protection and contains a self-monitoring system. It has no moving parts, is maintenance free and can be run without generating operating costs.

### 3.2. Signal processing and communication

The WEARSCANNER has a signal bandwidth of several kHz and is therefore theoretically capable of separately measuring thousands of particles. Of course, this would require that the particles „swim“

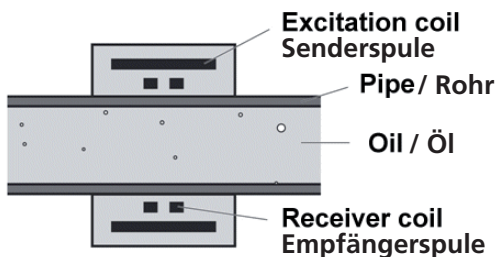


Fig. 5: A coil generates eddy currents in metallic particles. These currents can then be detected in a second coil.  
Abb. 5: Eine Spule erzeugt Wirbelströme in metallischen Partikeln, die sich dadurch mittels einer zweiten Spule detektieren lassen.

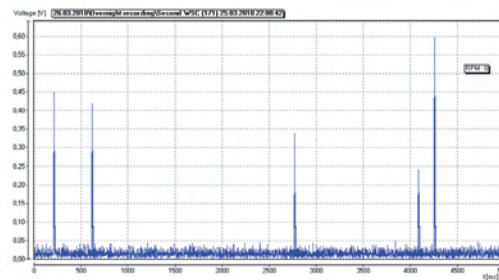


Fig. 6: The amplitude of the measurement signal varies with the size and type of particles in the oil.  
Abb. 6: Je nach Größe und Art des durchlaufenden Partikels ändert sich die Amplitude des Messsignals.

derartige Ölanalysen relativ preisgünstig an und gestatten es, z.B. durch Partikelformanalysen [5] ins Detail zu gehen.

### 3. Der Partikelgrößenverteilungssensor WEARSCANNER

#### 3.1 Messprinzip

Wenn Strom durch einen als Spule aufgewickelten Leiter fließt, konzentrieren sich die dadurch erzeugten Feldlinien im inneren Bereich der Spule. Es entsteht innerhalb der Spule ein homogenes und richtungsselektives Feld. Ist der Strom im Leiter ein Wechselstrom, entsteht ein elektromagnetisches Wechselfeld. Auf diesem Prinzip beruht die Funktionsweise der Wirbelstromerregerspule (Abbildung 5).

Werden nun elektrisch leitende Partikel dem elektromagnetischen Wechselfeld einer Prüfspule ausgesetzt, entsteht eine

pulsierende elektrische Spannung im Partikel, was bei elektrisch leitenden Partikeln einen Strom erzeugt. Dieser Wirbelstrom erzeugt wiederum ein reflektiertes Feld, das mit einer kleineren Empfängerspule detektiert werden kann. Die Amplitude des Signals hängt von der Größe und der Art des durchlaufenden Partikels ab (Abbildung 6), der Einfluss der Geschwindigkeit des durchschwimmenden Partikels ist vernachlässigbar. Um auch sehr kleine Partikel sicher erfassen zu können, wird bei der Empfängerspule das Differenzspulenverfahren verwendet. Jeweils zwei in entgegengesetzter Richtung gewickelte Spulen werden genutzt, um die plötzlichen Feldveränderungen infolge eines Partikeldurchgangs zu erkennen. Zur Größenunterscheidung ist im Sensor eine Signalverarbeitung

mit Demodulation integriert. Schließlich stellen elektrisch leitende Partikel nur Hindernisse dar, was den normalen Stromfluss zwischen Erreger- und Empfängerspule unterbricht und zu Demodulationen führt. Der WEARSCANNER Sensor misst in Echtzeit und arbeitet autark bei Umgebungstemperaturen von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+80^{\circ}\text{C}$ . Das Gehäuse aus Edelstahlguss ist für Drücke bis 16 bar spezifiziert und verfügt über  $\frac{1}{2}$ -Zoll-Rohranschlüsse. Betriebsfunktion und Partikeldurchgang zeigen zwei LEDs am Gehäuse an. Blitzschutz und Selbstüberwachung sind integriert. Das Gerät enthält keine beweglichen Teile und ist somit wartungs- und betriebskostenfrei.

#### 3.2. Signalverarbeitung und Kommunikation

Der WEARSCANNER hat eine Signalband-

through the sensor one by one. Therefore, simply counting is not enough. The particle size distribution counter is equipped with a floating averaging algorithm and a classification routine based on the residence time method. The simple summation method, which was used initially, was eventually discarded since larger particles often only swim under non-stationary conditions (Section 3.3.2). After all, it is interesting to know how particle sizes are distributed and how the particle distributions change over time.

Communication with the WEARSCANNER can take place directly via Telnet/FTP or indirectly via Modbus TCP. In Modbus communication, a static Modbus protocol with fixed register addresses for all result

values is used. In parallel, data is stored internally in the WEARSCANNER, making it possible to store measurement results over many years. The data can be read out with the displayed software (Figure 7).

### 3.3. WEARSCANNER trials

The WEARSCANNER trials take place in-house on PRÜFTECHNIK test equipment and in the field. In this report, we describe two special features of the WEARSCANNER that were closely examined using PRÜFTECHNIK test stands.

On the eccentric test stand, it was shown that the WEARSCANNER outputs plausible signals even at very low volumetric flow rates. This ensures that even particles that move very slowly through the sensor due to low oil flow rates can be detected. In ad-

dition, the swimming capability of different particles was tested in the two-chamber oil flow test bench by contaminating the oil in controlled trials.

#### 3.3.1. Eccentric test stand

The eccentric test stand was used to mechanically simulate low volumetric flow rates. By changing the eccentric shaft rotating speed, the flow velocity can be adjusted down to 0.01 m/s. The sample measurement results at low velocity is shown in Figure 8. In the measurement results, it is even possible to see the passage of the sample particles through both receiver coils. The particle holder, which is moved like a plunger, is non-metallic. Individual spherical particles were applied to the rod head (particle size: 50  $\mu\text{m}$  to 300  $\mu\text{m}$ ).

Fig. 7: The OMNITREND software can be used to graphically display, store and evaluate the measurement results.  
 Abb. 7: Die Software OMNITREND erlaubt die grafische Darstellung der Messergebnisse sowie deren Speicherung und Auswertung.

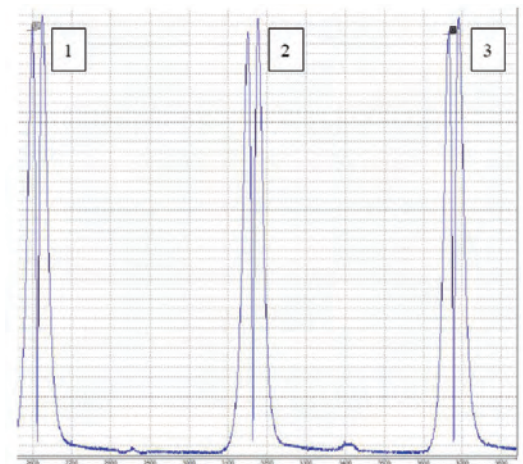
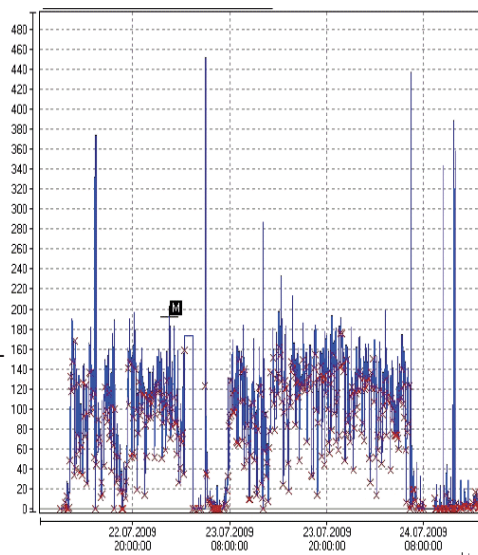


Fig. 8: Examples of measurement results: The individual peaks show the particle passing through the two receiver coils.  
 Abb. 8: Beispielhafte Messergebnisse: In den einzelnen Peaks lässt sich der Durchgang eines Partikels durch beide Empfängerspulen erkennen.

breite von mehreren kHz und ist damit theoretisch in der Lage, Tausende Partikel getrennt zu erfassen. Natürlich vorausgesetzt, dass die Partikel nacheinander „vorbeischwimmen“. Zählen allein genügt nicht. In den Partikelverteilungszähler wurden zudem eine gleitende Mittelwertbildung und eine Klassierung nach dem Verweildauerverfahren integriert. Das anfänglich verwendete einfache Aufsummieren wurde verworfen, da größere Partikel oft nur bei instationären Zuständen schwimmen (Kapitel 3.3.2). Schließlich interessiert den Anwender auch, wie die Partikelgrößen verteilt sind und sich die Partikelverteilungen über die Nutzungsdauer verändern. Die Kommunikation mit dem WEARSCANNER kann direkt über Telnet/FTP oder indirekt über Modbus TCP erfolgen. Bei

der Modbus-Kommunikation wird ein statisches Modbus-Protokoll mit fester Registeradresse für alle Ergebniswerte verwendet. Parallel erfolgt im Gerät eine interne Datenspeicherung, die es erlaubt Messergebnisse über Jahre hinweg abzuspeichern beziehungsweise Daten mit der zugehörigen Software (Abbildung 7) auszulesen.

### 3.3 Einige Messergebnisse

Die Erprobung erfolgte auf eigenen Prüfeinrichtungen wie auch in Feldeinsätzen. Im Folgenden werden zwei besondere Eigenschaften des WEARSCANNER beschrieben, die mit Prüfstandseinrichtungen näher untersucht wurden.

Auf dem Exzenterprüfstand ließ sich nachweisen, dass das Gerät auch bei minimalen Volumenströmen sinnvolle Signale liefert. Schließlich kann es vorkommen, dass sich

Partikel wegen geringer Öldurchflussmengen nur sehr langsam durch den Sensor bewegen. Mit dem Zweikammerölprüfstand wurde auch die „Schwimmfähigkeit“ unterschiedlicher Partikelgrößen untersucht, indem das Öl gezielt kontaminiert wurde.

#### 3.3.1 Prüfungen am Exzenterprüfstand

Geringe Volumenströme werden am Exzenterprüfstand mechanisch simuliert. Durch Verändern der Exzenterdrehzahl lassen sich sehr niedrige Fließgeschwindigkeiten einstellen (bis auf 0,01 m/s). Beispielhafte Messergebnisse bei niedriger Geschwindigkeit sind in Abbildung 8 dargestellt. Man erkennt in den Messergebnissen bei sehr niedriger Drehzahl sogar den Durchgang der Probepartikel durch die beiden Empfängerspulen. Der wie eine Kolbenstange

# 8 Measurement and online monitoring of wear particles Verschleißpartikel messen und online überwachen

These tests showed that the same amplitudes were measured even at very low flow velocities.

### 3.3.2. Two-chamber oil flow test bench

A variable speed, two-chamber oil flow test bench was used for higher flow velocities (Figure 9).

Two separate chambers make it possible to circulate approximately 150 l of contaminated oil at different pressures, temperatures and volumetric flow rates, and to compare the behavior of multiple

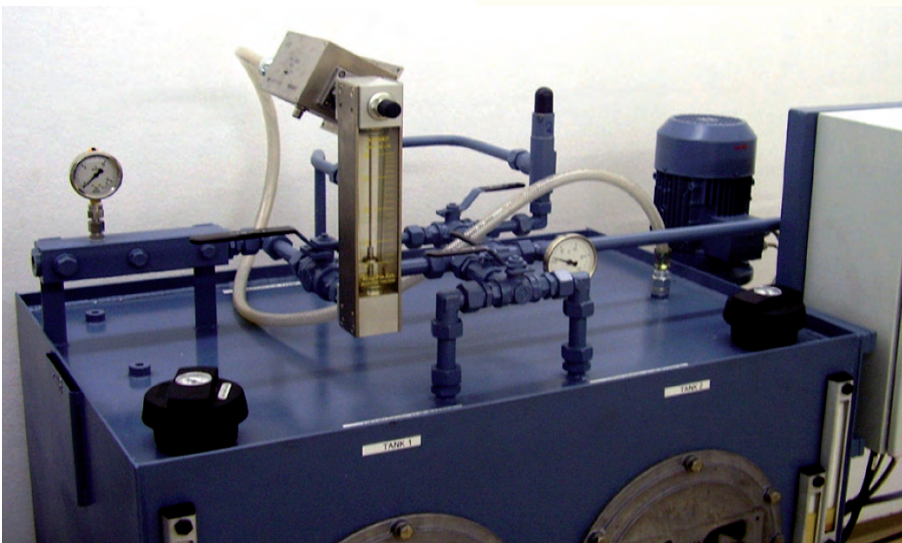


Fig. 9: The two-chamber oil flow test bench is used to test the Wears scanner. Different temperatures, pressures and volume flows can be set. Abb. 9: Der Zweikammer-Ölumlaufrüfstand dient dem Test des WEARSCANNERS. Verschiedene Temperaturen, Drücke und Volumenströme sind einstellbar.

WEARSCANNERS. The oil flow test bench can also be used to check the response of the WEARSCANNER to contamination with particles of different sizes and quantities.

The tests showed that the swimming capability of particles differs widely. Particles up to about 100  $\mu\text{m}$  in size swim well and for relatively long distances through the lubricating system. Particles larger than 300  $\mu\text{m}$  are heavier, settle quickly and often swim during non-stationary processes (such as when the pump is switched on or the rpm changes).

In summary, these trials showed that the evaluation concept used with the WEARSCANNER had to be changed in such a way that the size-dependent particle counts are not only summed but instead are recorded as a momentary value with a time stamp, as are temperatures, vibrations and other process values.

bewegte Partikelträger ist nichtmetallisch und enthält am Stabkopf sphärischen Testpartikel (getestet wurde mit Partikelgrößen von 50  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ ).

Fazit der Prüfungen war, dass auch bei sehr niedrigen Fließgeschwindigkeiten gleiche Amplitudenhöhen gemessen werden.

### 3.3.2 Prüfungen am Zweikammer-Ölumlaufrüfstand

Für höhere Durchflussgeschwindigkeiten wird ein drehzahlvariabler Zweikammer-Ölumlaufrüfstand verwendet (Abbildung 9). Zwei separate Kammern erlauben es, etwa 150 Liter Öl mit unterschiedlichen Drücken, Temperaturen und Volumenströmen umzupumpen und das Verhalten auch mehrerer WEARSCANNER miteinander zu vergleichen. Der Ölprüfstand lässt sich ebenso nutzen, um die Reaktion des Gerätes auf Kontamination mit Partikeln unterschiedlicher Größen und Mengen zu prüfen.

Bei den Tests zeigte sich, dass das „Schwimmvermögen“ von Partikeln recht unterschiedlich ist. Partikel bis etwa 100  $\mu\text{m}$  schwimmen gut und relativ lange durch das Schmier system. Partikel größer 300  $\mu\text{m}$  sind schwerer, setzen sich schnell ab und schwimmen oft nur bei instationären Vorgängen wie beim Einschalten der Pumpe oder bei Drehzahländerungen.

Ergebnis dieser Versuche war, dass Auswertekonzept im WEARSCANNER so zu ändern, dass die größenabhängigen Partikelzahlen nicht nur einfach hoch gezählt werden, sondern ähnlich wie Temperaturen, Schwingungen und andere Prozessgrößen als Momentanwert mit Zeitstempel aufgezeichnet werden.

#### List of References/Literaturverzeichnis:

- [1] E.Becker: „Telemonitoring von Windenergieanlagen“ Z. antriebstechnik 5/2008 S.68-73
- [2] www.telediagnose.com
- [3] Jantzen: Z. Tribologie und Schmier-  
ungstechnik 5/2003
- [4] H.R. Braun: „Ölreinheit und Partikel-  
zählung: Wissen wir wirklich, was wir  
messen?“ Vortrag zur GETPRO, März  
2009, Würzburg, S.671-678
- [5] www.oilcheck.de, Z.Oilchecker

#### PRÜFTECHNIK

Condition Monitoring GmbH  
Oskar-Messter-Straße 19-21  
85737 Ismaning, Germany  
www.pruftechnik.com  
Tel: +49 89 99616-0  
Fax: +49 89 99616-300  
eMail: info@pruftechnik.com