German

In Kundenprojekten habe ich an unterschiedlichen mechanischen Bauteilen nicht nur die globale Formabweichung sondern auch die Charakteristik der Formabweichung untersuchen müssen. Hintergrund war immer die direkte Geräuschentwicklung der Bauteile (z.B. bei Rotation) oder die Resonanz des bewegten Bauteils mit anderen Baugruppen des gesamten Systems (z.B. Automobil).

## 1. Geräusche und Resonanzen bei Getriebe- Kurbel- und Nockenwellen (Gleitlager)

Weist die Rundheit eine dominante Welligkeit bei einer speziellen Harmonischen auf, dann rollt das Bauteil nicht in der runden Lagerschale, sondern es ergibt sich eine zur Rotationsachse senkrechte Bewegung (Oszillation). Aus dem

* Weg, Amplitude der Harmonischen
* Zeitfaktor und der
* Masse des Bauteils

kann der Impuls der Oszillation abgeleitet werden. Die Rotationsgeschwindigkeit hat einen direkten Einfluss.

**Beispiel**

Dominate Welligkeit

N = 5, A = 0.5nm, Rotation = 600 1/min 🡺 Auswirkung: 5\*0.5\*600/60 🡺 Impuls 25

N = 500, A = 0.1nm, Rotation = 600 1/min 🡺 Auswirkung: 500\*0.1\*600/60 🡺 Impuls 500

Obwohl die Amplitude n = 500 5-fach kleiner ist der Einfluss 20-fach. Daher kann es wichtiger sein, die Welligkeit bei n = 500 in den Griff zu bekommen und nicht die Welligkeit bei n = 5.

Wichtig bei Punktberührung (Kugellager)

**Historie**

Aus diesem Grund wurde die FFT-Auswertung in UMESS UX implementiert. Hoch- Tief- Band-Pass war auf Grund der Normung bereits realisiert

###### **2.** Beurteilung Wellennormal

In diesem Fall wird bei der kritischen Dominanten mit einem Bandpass-Filter die Amplitude ermittelt. Bedingt durch den Durchlass von 50% bei der Grenzwellenlänge, viertelt sich der Amplitudenwert. Daher muss dieser Wert vervierfacht und mit Spezifikation verglichen werden.

###### 3. Drall-Messung an Wälzlagern

Bedingt durch den Fertigungsprozess können auf der Lageroberfläche periodische Mikrostrukturen entstehen (Drall). Dies kann die Schmiermittel aus dem Lager fördern. Der dadurch entstehende Trockenlauf führt dann zum "Fressen" des Lagers.

Gehonte Kreuzstrukturen in Motorblöcken verbessern hingegen die Haftung des Schmiermittels.

In diesem Fall sind nur die höheren Harmonischen wichtig, daher wird ein Hoch-Pass einsetzt, der die "grobe" Form ausblendet.

#### 4. Plastische Verformung des Bauteils durch zu hohe Spannkräfte oder Memory-Effekte bei Wärmebehandlung

Mehrbackenfutter können bleibende Verformungen erzeugen (Dreibackenfutter 🡺 Dreiseitengleichdick)

Ein rundes Bauteil weist nach dem Härten eine rechteckige Grundform auf, da sich das Ausgangsmaterial an das rechteckige Walzprofil des Walzwerks erinnert.

Beurteilung meist über Tiefpassfilter

##### 5. Langwelligkeit bei Bremsscheiben

Bremsscheiben dürfen keine langwelligen Formabweichungen aufweisen. Die Bremsbacken überdecken einen definierten Winkelbereich der Scheibe. Eine zu große langwellige Amplitude führt zu einer Dickendifferenz, was wiederum zu einem "Rütteln" und ggf. "Einlaufen" der Bremsescheibe führt.

Beurteilung über Tiefpass, meist wird nur bis zur 10-ten Harmonischen toleriert ist

###### 6. Welligkeit von Kugel- oder Walzenlaufbahnen

Präzisionslager zeichnen sich durch eine hohe Laufruhe und damit Geräuschentwicklung aus. Voraussetzung hierfür ist in der Regel das Fehlen von "dominanten“ Welligkeiten. Diese können durch Schwingungen der Bearbeitungsmaschine verursacht werden, die sich als periodische Formabweichung auf der Laufbahn abbilden.

Ebenso kann sich ein lokaler Defekt des Werkzeugs als periodischer Fehler abbilden (Verhältnis Rotation des Bauteils und des Werkzeugs).

Bei Kugelumlaufgewinden wird die radiale- und eine axiale Welligkeit ermittelt. Die Axiale führt zu Stößen in Laufrichtung und damit ggf. zur Selbsthemmung der umlaufenden Kugeln (Wendeltreppeneffekt).

7. Signalqualität von Maßstäben

Die opto-mechanische Teilung eines Maßstabs wird elektronisch aufbereitet. Ist die Justage nicht optimal, führt dies zu einer virtuellen Welligkeit des Messwerte einer Achse.

Eine Steigung von 10.000mm zeigt dann in der Z-Achse ein Signal bei 200 (40µm Teilung). Wird eine feinere Teilung (8µm) verwendet, springt das Signal auf 1000 (40/8 = 5).

Da in der Praxis die Messgeräte nur im Rahmen der Hersteller-Spezifikation justiert sind, findet eine Überlagerung bei 3-dimensionalen Messungen statt.

Alle Bewegungen des Messgeräts können Schwingungen verursachen, bedingt durch den Aufbau ggf. mit Eigenfrequenzen, die wiederum von der Dynamik der Messung abhängen.

Lagerhersteller setzen daher in der Regel selbstentwickelte Mess- und Analyse-Systeme ein, die mit einer Minimalzahl und entkoppelter bewegter Komponenten auskommt. Durch diesen Aufbau können die Einflüsse minimiert werden und ggf. software-technisch ausblenden werden.

# Wichtige Anforderungen an Messmittel und Messung bei Welligkeitsmessungen

- Hochgenaue Maßstäbe

- Stabile Ausführung des Messgeräts

- Qualitativ hochwertiger Drehtisch (falls vorhanden)

- Gute Schwingungsdämpfung des Geräts

- Optimiere Messgeschwindigkeit (nicht zu schnell, zu langsam)

- Reibung kann Schwingungen im Messtaster verursachen (Diamanttaster)

- Messmittel gewartet und zertifiziert

- Überprüfung des Messmittel mit zertifizierten Wellennormal

- Überprüfung auf Eigenfrequenzen des Messmittels durch Vergleichsmessung mit zertifizierten Bauteil (Gauge) ähnliche Dimension um Einfluss der Messparameter (Taster, Geschwindigkeit, ...) zu erkennen.

# Zusammenfassung

Bei Welligkeiten arbeiten wir im Nanometer-Bereich. Der absolute, wahre Wert einer Welligkeit lässt sich daher mit einem KMG nicht exakt numerisch erfassen, da das Messmittel an den Grenzen arbeitet.

Häufig kann jedoch über Vergleichsmessungen ein Fehler gefunden und abgestellt werden, ohne den exakten Wert zu kennen.

**Beispiel 1**

Einspindel-Schleifmaschine

Rundheit Bauteil 1 OK und keine Auffälligkeiten bei akustische Prüfung

Rundheit Bauteil 2 OK aber Geräusche bei der akustischen Prüfung

Vergleich des Spektrums zeigt bei Bauteil 2 eine dominante Amplitude

**Ursache**

Bei der Bearbeitung des 2-ten Bauteils war eine Hydraulik-Pumpe aktiv, deren Eigenschwingung sich auf dem Bauteil abbildet.

Maßnahme: Konstruktive Änderung der Maschine

**Beispiel 2**

Schleifen zwischen Spitzen

Nach einer gewissen Zeit traten Welligkeiten an Lagern auf.

**Ursache**

Lagerschaden in der Gegenhalter-Spitze.

Maßnahme: Austausch-Zyklus des Spitzen-Lagers ermitteln.

**Beispiel 3**

Bei der Rundheit eines Lagersitzes mussten immer wieder Teile mit zu hoher Formabweichung aussortiert werden.

**Beobachtung**

Die Rundheit zeigte immer eine charakteristische Welligkeit, zudem waren es immer Bauteile, die in der Nachtschicht gefertigt wurden.

**Ursache**

Die Maschine arbeiteten in der Nachtschicht im „OverRide-Mode“ um Zeit zu sparen. Die Schwingungen der Maschine übertrugen sich auf die Form.

English

In customer projects, I not only had to examine the global form deviation on different mechanical components, but also the characteristic of the shape deviation. The background was always the direct noise of the components (e.g. during rotation) or the resonance of the moving component with other assemblies of the entire system (e.g. automotive).

1. Noises and resonances at gear- crank-and camshafts (plain bearings)  
   If the roundness has a dominant waviness at a special harmonic, then the component does not roll in the round bearing shell, but there is a movement perpendicular to the axis of rotation (oscillation). The  
   - way, amplitude of harmonics  
   - time factor and the  
   - Mass of the component  
   the momentum of the oscillation can be derived. The speed of rotation has a direct influence.

**Example**  
Dominate waviness  
N = 5, A = 0.5nm, rotation = 600 1 / min, impact: 5 \* 0.5 \* 600/60 ⎝ pulse 25  
N = 500, A = 0.1nm, rotation = 600 1 / min, impact: 500 \* 0.1 \* 600/60 ⎝ pulse 500  
Although the amplitude n = 500 5 times smaller, the influence is 20 times. Therefore, it may be more important to control the ripple at n = 500 and not the ripple at n = 5.  
Important when touching points (ball bearings)

**History**  
For this reason, the FFT evaluation was implemented in UMESS UX. High-low-band pass was already implemented due to standardization.

1. Assessment of a wave gauge  
   In this case, the amplitude is determined for the critical dominant using a bandpass filter. Due to the transmission of 50% at the cutoff wavelength, the amplitude value is quartered. Therefore this value has to be quadrupled and compared with the specification.
2. Twist measurement on rolling bearings  
   Due to the manufacturing process, periodic microstructures can arise on the bearing surface (swirl). This can pump the lubricant out of the bearing. The resulting dry running then leads to the bearing "eating".  
   In contrast, honed cross structures in engine blocks improve the adhesion of the lubricant.  
   In this case, only the higher harmonics are important, so a high pass is used to hide the "rough" form.
3. Plastic deformation of the component due to excessive clamping forces or memory effects during heat treatment  
   Multi-jaw chucks can produce permanent deformations (three-jaw chuck 🡺 three-sided thickness)  
   After hardening, a round component has a rectangular basic shape, since the starting material remembers the rectangular rolling profile of the rolling mill.  
   Assessment mostly via low pass filter
4. Long waviness at brake discs  
   Brake discs must not have any long-wave shape deviations. The brake shoes cover a defined angular range of the disc. Too large long-wave amplitude leads to a difference in thickness, which in turn leads to "shaking" and possibly "running in" of the brake disc.  
   Assessment via low pass, usually only up to the 10th harmonic is tolerated
5. Waviness of ball- or roller raceways  
   Precision bearings are characterized by a high level of smoothness and thus noise. The prerequisite for this is usually the absence of "dominant" ripples. These can be caused by vibrations of the processing machine, which show up as a periodic shape deviation on the track.  
   A local defect of the tool can also be represented as a periodic error (ratio of rotation of the component and the tool).  
   In the case of recirculating ball threads, the radial and axial waviness are determined. The axial leads to impacts in the running direction and thus possibly to self-locking of the surrounding balls (spiral staircase effect).
6. 7. Signal quality of scales  
   The opto-mechanical division of a scale is processed electronically. If the adjustment is not optimal, this leads to a virtual waviness of the measured values of an axis.  
   A slope of 10,000 mm then shows a signal at 200 (40 µm pitch) in the Z axis. If a finer pitch (8µm) is used, the signal jumps to 1000 (40/8 = 5).  
   Since in practice the measuring devices are only adjusted within the scope of the manufacturer's specification, they are superimposed on 3-dimensional measurements.  
   All movements of the measuring device can cause vibrations, possibly due to the structure with natural frequencies, which in turn depend on the dynamics of the measurement.  
   Bearing manufacturers therefore generally use self-developed measuring and analysis systems that manage with a minimum number and decoupled moving components. With this structure, the influences can be minimized and, if necessary, hidden in terms of software.

Important requirements for measuring equipment to measurement waviness  
- Highly accurate scales  
- Stable execution of the measuring device  
- High quality turntable (if available)  
- Good vibration damping of the device  
- Optimize measuring speed (not too fast, too slow)  
- Friction can cause vibrations in the probe (diamond probe)  
- Measuring equipment serviced and certified  
- Checking the measuring equipment with certified gauges  
- Check for natural frequencies of the measuring equipment by comparative measurement with a certified component (gauge) similar dimension in order to recognize the influence of the measurement parameters (probe, speed, ...).

Summary  
We work at nanometer range for waviness. The absolute, true value of a ripple can therefore not be recorded exactly numerically with a CMM, since the measuring device works at the limits.  
Often, however, an error can be found and remedied using comparative measurements without knowing the exact value.  
  
Example 1  
Single spindle grinding machine  
Roundness component 1 OK and no abnormalities in acoustic testing  
Roundness component 2 OK but noises during the acoustic test  
Comparison of the spectrum shows a dominant amplitude in component 2  
Reason  
When processing the second component, a hydraulic pump was active, and the natural vibration is reflected on the component.  
Solution: constructive change of the machine  
  
**Example 2**  
Grinding between tips  
After a certain time, ripples on the bearings appeared.  
Reason  
Bearing damage in the counter holder tip.  
Solution: Determine the replacement cycle of the tip bearing.

**Example 3**  
In the roundness of a bearing seat, parts with excessive shape deviation had to be sorted out again and again.  
Observation  
The roundness always showed a characteristic ripple, moreover, it was always components that were made in the night shift.  
Reason

The machine worked in the night shift in "OverRide mode" to save time. The vibrations of the machine were transferred into the form.