

1. Hüllkurve-Analyse

Durch FFT können wir das Spektrum aus Schwingungssignalen bekommen. Obwohl das Spektrum die Frequenzkomponenten aufweist, ist die Energie jeder Frequenz noch nicht sichtbar, weil das Spektrum das Ergebnis der Modulation aller Frequenzkomponenten ist. Das heißt, die Fehlerfrequenz erscheint nicht deutlich im Spektrum und die Fehlerdiagnose kann nicht damit durchgeführt werden.

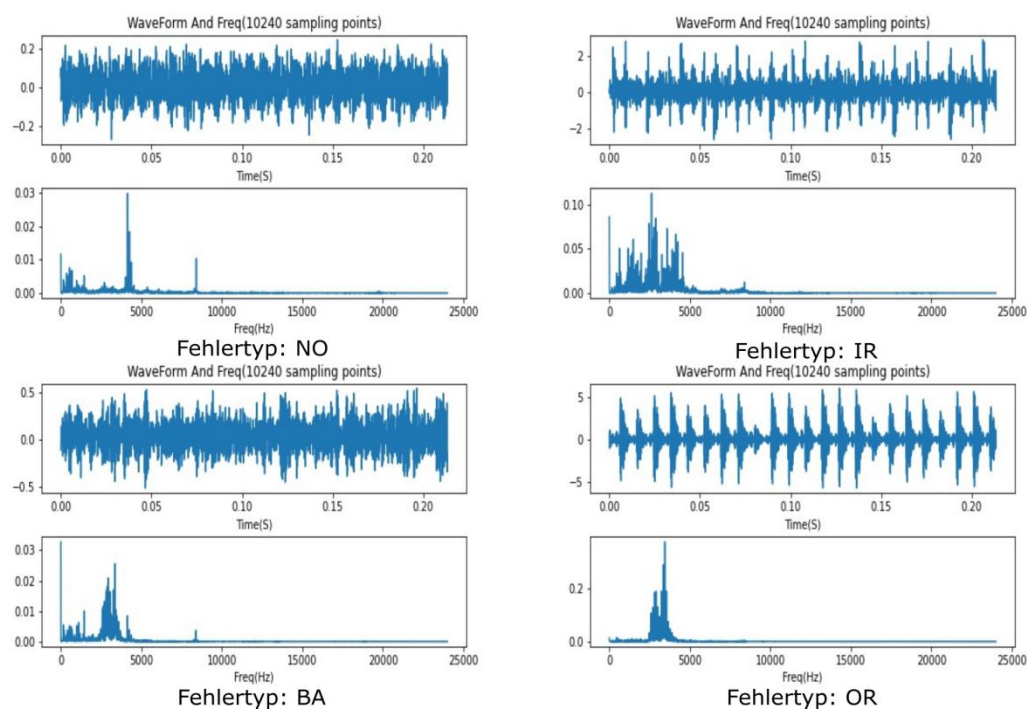


Bild 1 Ergebnis der FFT (4 Fehlertypen, NO-Normal, IR-Inner race, BA-Ball, OR-Outer Race)

Im Vergleich dazu ist die Amplitude der Fehlerfrequenz im Hüllspektrum offensichtlich sehr hoch. Das Hüllspektrum kommt nicht direkt aus den Schwingungssignalen, sondern der

Hüllkurve. Die Hüllkurve ist die Ausgleichskurve einer Reihe von Spitzenwerten, die durch die Hilbert-Transformation der Schwingungssignale erzeugt werden.

Die Hilbert-Transformation:

$$H(u)(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{u(\tau)}{t - \tau} d\tau$$

$u(t)$ -- Die Funktion oder das Signal im Zeitbereich

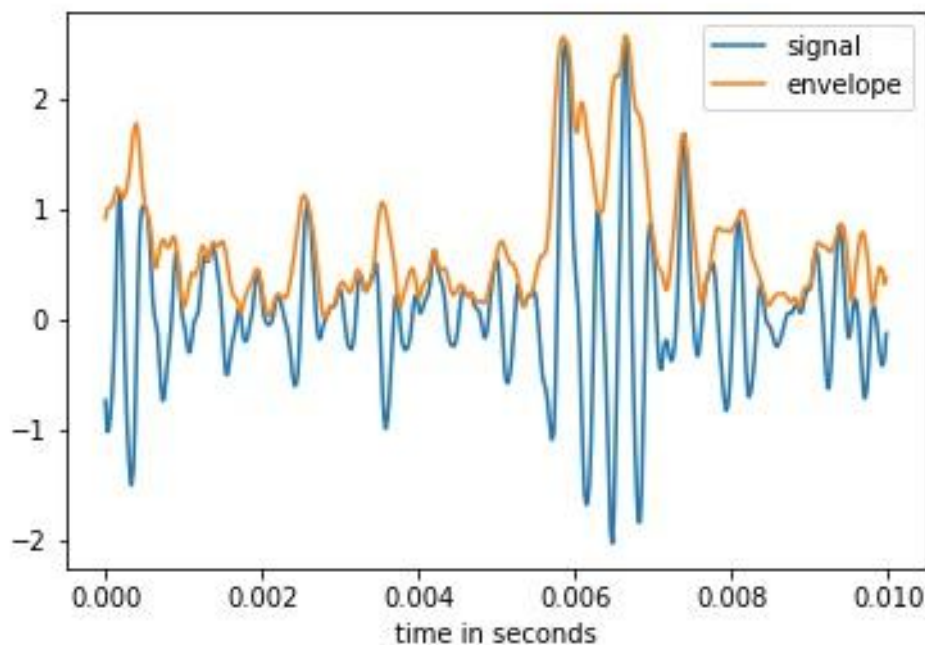


Bild 2 Die Hilbert-Transformation des Signals

Durch die FFT der Hüllkurve kann man das Hüllspektrum bekommen, das die Modulationsinformationen des Schwingungssignals enthält. Durch die Verbindung der theoretischen Analyse des Lagers mit dem Hüllspektrum kann man den Fehler des Lagers erkennen.

1.1 Eigenfrequenz

Die Grundlagen über die Kinematik des Wälzlagers:

<http://adi.eetrend.com/content/2018/100016146.html>

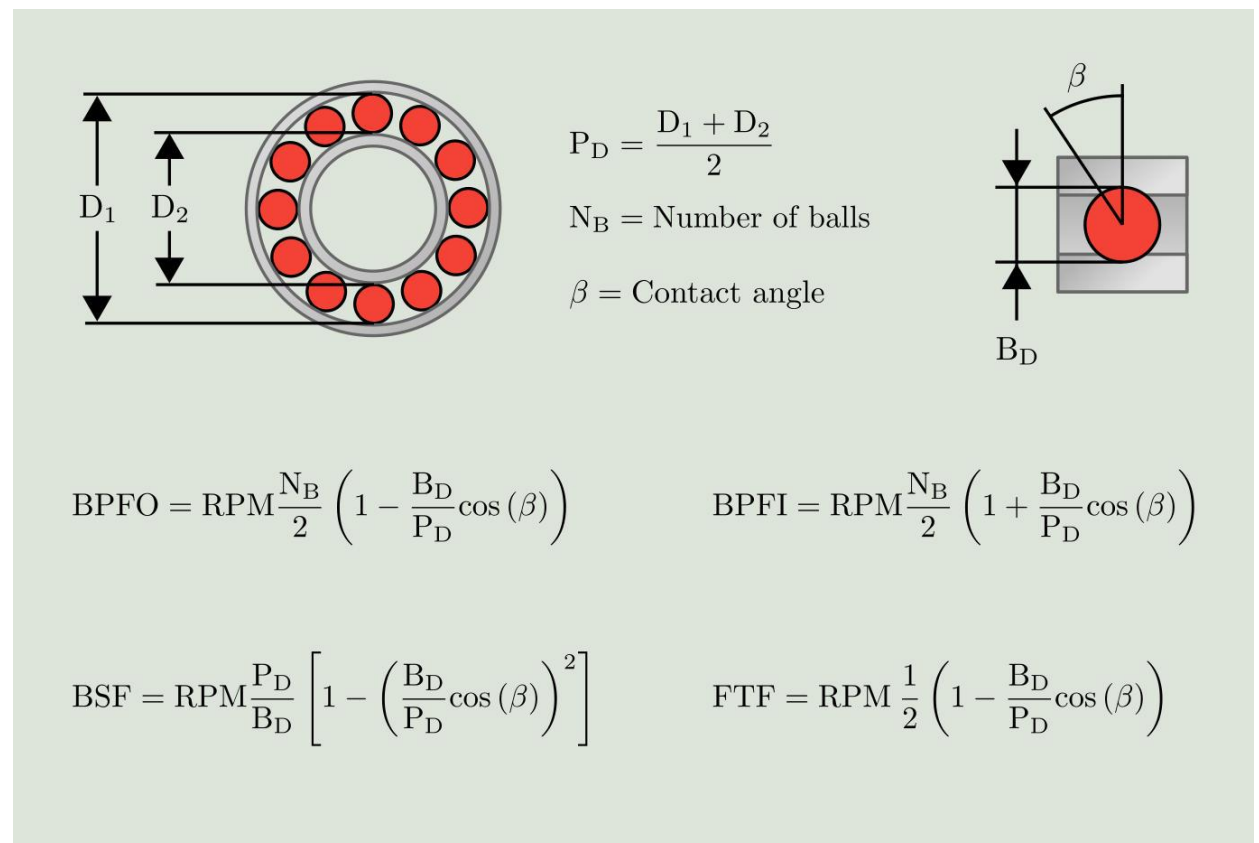


Bild 3 Die Fehlerfrequenzen des Wälzlagers

BPFO -- Outer-race fault frequency, BPFI -- Inner-race fault frequency, BSF -- Rolling-element fault frequency, FTF -- Cage fault frequency

1.2 Ordnungsanalyse

Unter einer Ordnungsanalyse versteht man die Analyse des Geräusches oder der Schwingungen von rotierenden Maschinen. Anders als bei der Frequenzanalyse wird hierbei der

Energiegehalt des Geräusches nicht über der Frequenz, sondern über der Ordnung aufgetragen.

Die Ordnung ist dabei ein Vielfaches der Drehzahl.

$$\text{Ord.} = \frac{\text{Frequenz}}{\text{Drehzahl}}$$

2. Hüllspektrum

In diesem Abschnitt wird der Einfluss von Fehlertypen, Drehzahl und Fehlerausmaß auf das Hüllspektrum erforscht.

2.1 Unterschiedliche Fehlertypen

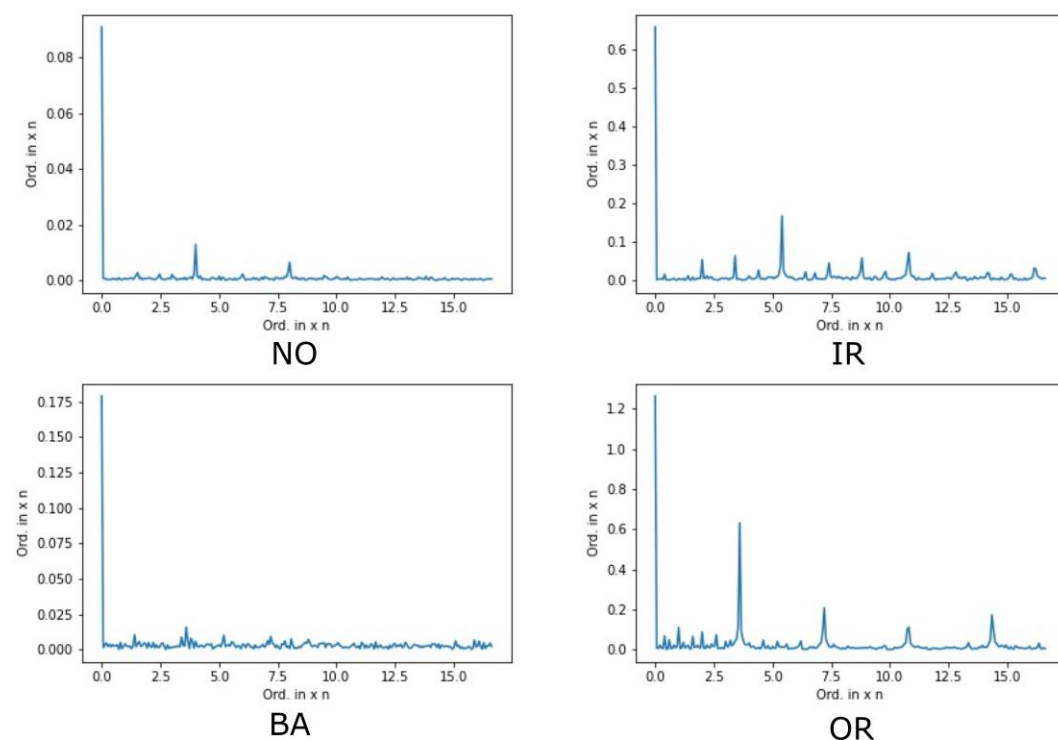


Bild 4 Ordnungsspektrum unterschiedlicher Fehlertypen (Drehzahl: 1797rpm
Fehlerausmaß:0,0007inch)

Bearing Information

Drive end bearing: 6205-2RS JEM SKF, deep groove ball bearing

Size: (inches)

Inside Diameter	Outside Diameter	Thickness	Ball Diameter	Pitch Diameter
0.9843	2.0472	0.5906	0.3126	1.537

Defect frequencies: (multiple of running speed in Hz)

Inner Ring	Outer Ring	Cage Train	Rolling Element
5.4152	3.5848	0.39828	4.7135

Bild 5 Die Informationen des Lagers

Für IR und OR erscheint die Fehlerfrequenz im Ordnungsspektrum deutlich. (IR-5.4, OR-3.6)

Aber für BA gibt es keine höhere Frequenzkomponente. Die mögliche Ursachen dafür sind die Modulationen des Signals von Kugel, Käfigzunge, innerem Ring, äußerem Ring. Außerdem gibt es noch die äußere Erregung und andere harmonische Welle. Mehrere Signale überlagern sich miteinander.

Im Vergleich zu OR weist das IR-Spektrogramm kein deutliches Seitenband neben der Fehlerfrequenz. Das bedeutet, der Inner-Ring ist fest eingestellt. Die Lage des Fehlers ändert sich nicht im Laufe der Zeit.

2.2 Unterschiedliche Drehzahlen

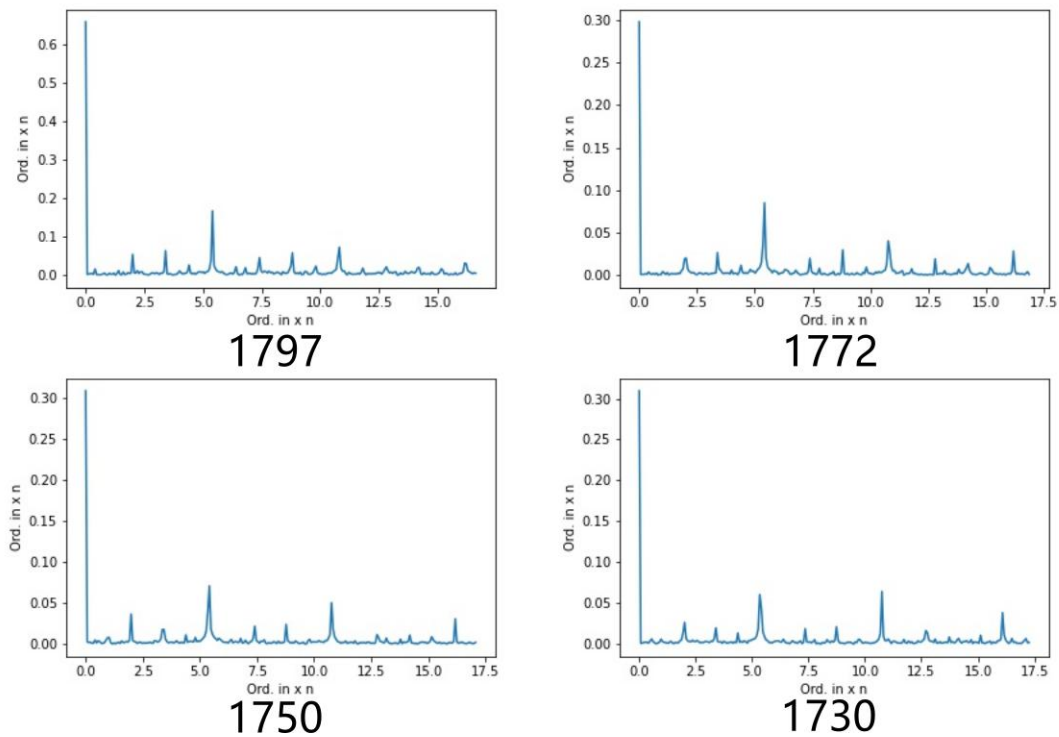


Bild 6 Ordnungsspektrum unterschiedlicher Drehzahlen (Fehlertyp: IR, Drehzahl in rpm)

Die Drehzahl hat keinen Einfluss auf die Feature-Verteilung des Ordnungsspektrums, obwohl die Fehlerfrequenz abhängig von der Drehzahl ist.

2.3 Unterschiedliche Fehlerausmaße

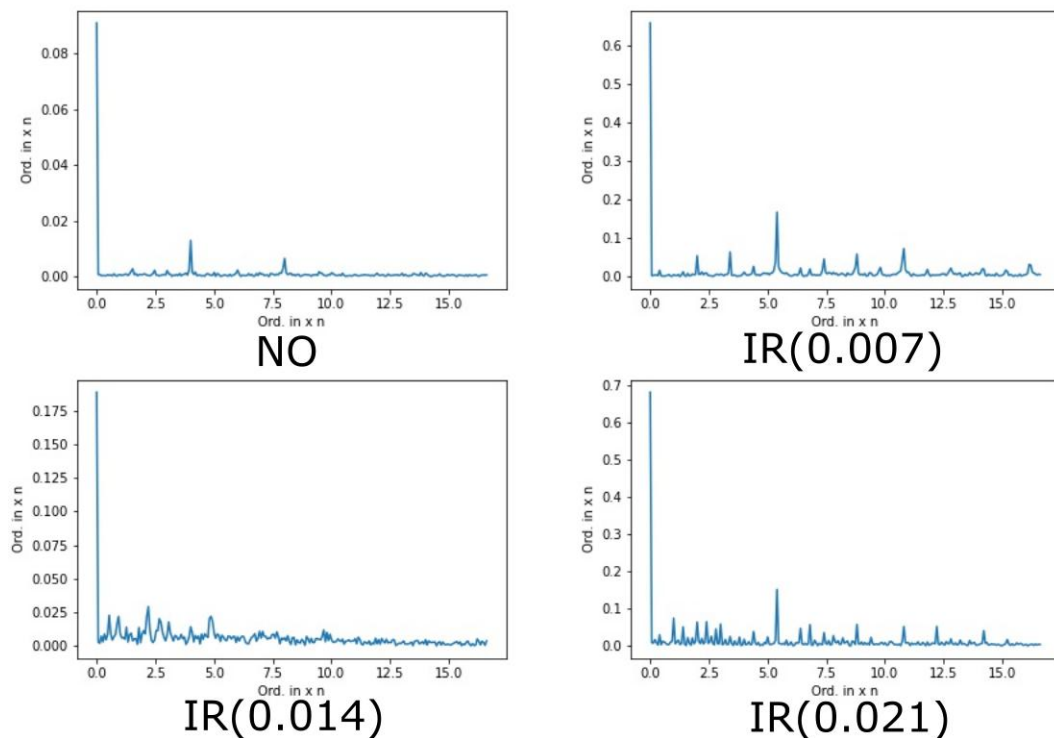


Bild 7 Ordnungsspektrum unterschiedlicher Fehlerausmaße (Fehlertyp: IR, Ausmaß in Inch)

Das Ausmaß des Fehlers hat Einfluss auf die Feature-Verteilung des Ordnungsspektrums. Das Seitenband wird durch steigendes Fehlerausmaß deutlich erhöht.

Die mögliche Ursachen dafür sind die Eigenfrequenz des Inner-Rings und die auf das Inner-Ring wirkende äußere Faktoren.