

Messdatenverarbeitung

Kapitel 1 Einführung in die Messdatenverarbeitung

Clemens Gühmann¹

© 2023 All Rights Reserved

¹Chair of Electronic Measurement and Diagnostic Technology
Department of Energy and Automation Technology
School of Electrical Engineering and Computer Science
Technische Universität Berlin

Sommersemester 2023

1. Einleitung

1.1 Organisation

1.2 Lernziele

1.3 Praktikum/Übung

1.4 Literatur

1.5 Anwendungsbeispiele

1.5.1 Klopfen eines Ottomotors

1.5.2 Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

1. Einleitung

1.1 Organisation

1.2 Lernziele

1.3 Praktikum/Übung

1.4 Literatur

1.5 Anwendungsbeispiele

1.5.1 Klopfen eines Ottomotors

1.5.2 Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Vorlesung

Prof. Dr.-Ing. Clemens Gühmann
Sprechzeiten: montags 17:30 - 18:30
per Telefon/Videochat
Den Link zum Zoom-Raum finden Sie auf unserer
Heimseite

Sekr.: EN 13 / Frau Schwidtal
E-Mail: elisabeth.schwidtal@tu-berlin.de



Praktikum/Übung

M.Sc. Ongun Türkçüoğlu
Forschung Lagerdiagnose
E-Mail: ongun.tuerkcueoglu@tu-berlin.de
Sprechzeiten: dienstags 13:00-14:00 Uhr
Raum: EN 547



Vorlesung

Prof. Dr.-Ing. Clemens Gühmann
Sprechzeiten: montags 17:30 - 18:30
per Telefon/Videochat
Den Link zum Zoom-Raum finden Sie auf unserer
Heimseite

Sekr.: EN 13 / Frau Schwidtal
E-Mail: elisabeth.schwidtal@tu-berlin.de



Praktikum/Übung

M.Sc. Ongun Türkçüoğlu
Forschung Lagerdiagnose
E-Mail: ongun.tuerkcueoglu@tu-berlin.de
Sprechzeiten: dienstags 13:00-14:00 Uhr
Raum: EN 547



Vorlesung

- ▶ Präsenz im H0111 freitags 10 Uhr c.t.
- ▶ Materialien im Isis-Kurs *VL MDV 2023*
<https://isis.tu-berlin.de/course/view.php?id=34140>
- ▶ es stehen Folien, Videos, Beispiele in Python und ein Skript zur Verfügung
- ▶ Fragen können im ISIS-Kurs im Forum (schriftlich) gestellt werden. Wir sammeln und beantworten diese, werden, wenn es erforderlich ist, ein Video erstellen.
- ▶ Sprechstunden/Fragestunden über Zoom-Meetings.

- ▶ Bachelor-Studiengänge Elektrotechnik und CE
- ▶ Das Modul Messdatenverarbeitung ist ein Pflichtmodul im Wahlpflichtbereich des Studienschwerpunkts Automatisierungstechnik im Studiengang Elektrotechnik
- ▶ Vorlesung
 - 2 SWS Vorlesung
 - Wann: freitags um 10 Uhr c.t.
 - Wo: H0111
 - Start: 21. April 2023
- ▶ Praktikum
 - Wann: wird durch Herrn Ongun Türkçüoğlu geklärt
 - 7 Praktikumsaufgaben mit Protokollerstellung
 - Prüfung: Klausur

- ▶ Termin 1
 - Wann? **24. Juli 2023** 08:30 bis 10:30
 - Wo? A 151

- ▶ Termin 2
 - Wann? **01. August 2023** 15:30 bis 17:30
 - Wo? A 151

- ▶ Wiederholungstermin
 - Wann? **12. Oktober 2023**
 - Wo? HE 101

- ▶ **Achtung! Die Termine werden noch über ISIS bestätigt.**

- ▶ **Achtung! Der Wiederholungstermin kann nur wahrgenommen werden, wenn die Prüfung zum Termin 1 oder Termin 2 nicht bestanden wurde**

- ▶ **Bedingungen: Taschenrechner + Spickzettel (1 DIN-A4-Bogen)**

- ▶ **Schwerpunktprojekt**

- ▶ Vorstellung der Themen am 21. April 2023 im EMH 225 um 14 Uhr c.t.
- ▶ individuelle Projektaufgaben in Gruppenarbeit
- ▶ Übersicht der Projekte des Fachgebietes MDT im ISIS-Kurs
Projekte@MDT
<https://isis.tu-berlin.de/course/view.php?id=19939>
- ▶ Start nach Vereinbarung. Bitte angegebene Betreuer:In direkt ansprechen
- ▶ Portfolioprüfung

1. Einleitung

1.1 Organisation

1.2 Lernziele

1.3 Praktikum/Übung

1.4 Literatur

1.5 Anwendungsbeispiele

1.5.1 Klopfen eines Ottomotors

1.5.2 Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Lernergebnisse

Sie werden in die Lage versetzt, PC und μ C-gestützte Messdatenverarbeitungssysteme einzusetzen, um Messdaten mit modernen Methoden der Signalverarbeitung auszuwerten.

Insbesondere erlernen Sie den **Entwurf** digitaler Filter, können **Transformationen** der Messdatenverarbeitung anwenden und deren Ergebnisse interpretieren. Ferner haben sie die grundlegende methodische Kompetenz zur selbständigen Lösung praxisrelevanter Aufgaben der Messdatenverarbeitung erworben.

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

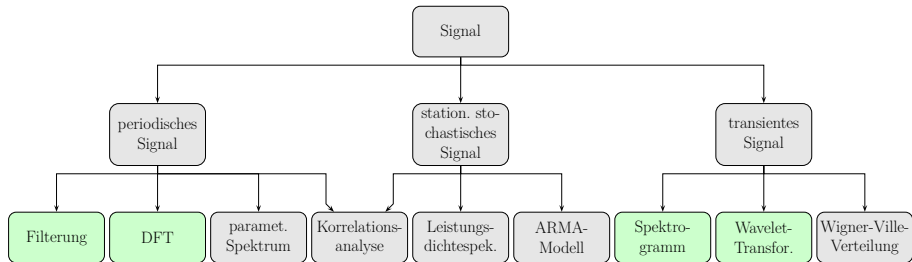
- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Was können Sie zum Start des Moduls wiederholen?

- ▶ Analoge Filter und Verstärker
- ▶ Frequenzgang und Bodediagramm
- ▶ Messkette zur Erfassung analoger Signale
- ▶ Abasttheorem
- ▶ Entwurf Antialiasing-Filter
- ▶ Analog-Digital-Umsetzer
- ▶ Fourieranalyse
- ▶ Laplace- und z-Transformation
- ▶ Umgang mit Python und NumPy

Lernziele

Was lernen Sie in der Veranstaltung MDV?



- ▶ Aufbau von Kompetenzen
 - Strukturen von Messdatenerfassungssystemen
 - Digitale Messkette, z-Transformation und DFT → Verfestigung des Wissens und sichere Anwendung
 - Digitale Filter (Grundlagen)
 - Wavelets und Kurzzeit-Fouriertransformation
- ▶ Hinführung zu unseren Projekten
- ▶ Vorbereitung für Bachelorarbeiten
- ▶ Darstellung der Methoden in Python
 - Motivation für eigene Untersuchungen aufbauen
 - Verbindung von Theorie und Praxis schaffen

- ▶ Aufbau von Kompetenzen
 - Strukturen von Messdatenerfassungssystemen
 - Digitale Messkette, z-Transformation und DFT → Verfestigung des Wissens und sichere Anwendung
 - Digitale Filter (Grundlagen)
 - Wavelets und Kurzzeit-Fouriertransformation
- ▶ Hinführung zu unseren Projekten
- ▶ Vorbereitung für Bachelorarbeiten
- ▶ Darstellung der Methoden in Python
 - Motivation für eigene Untersuchungen aufbauen
 - Verbindung von Theorie und Praxis schaffen

- ▶ Aufbau von Kompetenzen
 - Strukturen von Messdatenerfassungssystemen
 - Digitale Messkette, z-Transformation und DFT → Verfestigung des Wissens und sichere Anwendung
 - Digitale Filter (Grundlagen)
 - Wavelets und Kurzzeit-Fouriertransformation
- ▶ Hinführung zu unseren Projekten
- ▶ Vorbereitung für Bachelorarbeiten
- ▶ Darstellung der Methoden in Python
 - Motivation für eigene Untersuchungen aufbauen
 - Verbindung von Theorie und Praxis schaffen

- ▶ Aufbau von Kompetenzen
 - Strukturen von Messdatenerfassungssystemen
 - Digitale Messkette, z-Transformation und DFT → Verfestigung des Wissens und sichere Anwendung
 - Digitale Filter (Grundlagen)
 - Wavelets und Kurzzeit-Fouriertransformation
- ▶ Hinführung zu unseren Projekten
- ▶ Vorbereitung für Bachelorarbeiten
- ▶ Darstellung der Methoden in Python
 - Motivation für eigene Untersuchungen aufbauen
 - Verbindung von Theorie und Praxis schaffen

01	21.04.	Organisation und Kapitel 1 Einleitung
02	28.04.	2 Einführung in die Messdatenverarbeitung
03	05.05.	2 Einführung in die Messdatenverarbeitung
04	12.05.	3 Zeitdiskrete Signale
05	19.05.	3 Zeitdiskrete Signale
06	26.05.	3 Zeitdiskrete Signale
07	02.06.	3 Zeitdiskrete Signale (Videoaufzeichnung)
08	09.06.	4 Digitale Filter (Einführung)
09	16.06.	4 Digitale Filter (Einführung)
10	23.06.	4 Digitale Filter (Einführung)
11	30.06.	5 Kurzzeit-Fouriertransformation und Wavelets
12	07.07.	5 Kurzzeit-Fouriertransformation und Wavelets
13	14.07.	5 Kurzzeit-Fouriertransformation und Wavelets
14	21.07.	5 Kurzzeit-Fouriertransformation und Wavelets

1. Einleitung

1.1 Organisation

1.2 Lernziele

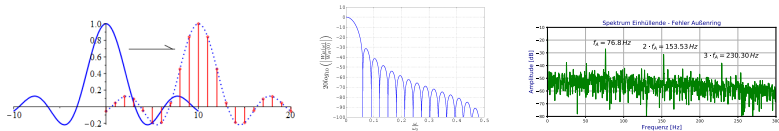
1.3 Praktikum/Übung

1.4 Literatur

1.5 Anwendungsbeispiele

1.5.1 Klopfen eines Ottomotors

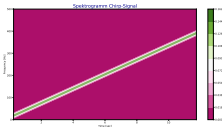
1.5.2 Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern



Vorstellung im ISIS-Kurs *PR MDV SoSe 2023*:

<https://isis.tu-berlin.de/course/view.php?id=34141>

durch Ongun Türkçüoğlu



1. Einleitung

1.1 Organisation

1.2 Lernziele

1.3 Praktikum/Übung

1.4 Literatur

1.5 Anwendungsbeispiele

1.5.1 Klopfen eines Ottomotors

1.5.2 Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

- [1] Gühmann, C.: *Folien zur Vorlesung Elektronische Messtechnik*. TU Berlin, 2022.
- [2] Gühmann, C.: *Folien zur Vorlesung Laplace- und Fouriertransformation*. TU Berlin, 2016.
- [3] Mühl, T.: *Einführung in die elektrische Messtechnik. Grundlagen, Messverfahren und Geräte*. 5. Auflage, Springer Vieweg, 2020.
- [4] Schwetlick, H.: *PC-Messtechnik: Grundlagen und Anwendungen der rechnergestützten Meßtechnik*.
- [5] Pfeiffer, W.: *Digitale Meßtechnik. Grundlagen, Geräte, Bussysteme*. Springer, 1997.
- [6] Fernando Puente León: *Messtechnik. Systemtheorie für Ingenieure und Informatikerr*. Springer Vieweg, 2015.
- [7] Lerch, R.: *Elektrische Messtechnik: Analoge, digitale und computergestützte Verfahren*. Springer-Lehrbuch 2012.
- [8] Föllinger, O.: *Laplace-, Fourier- und z-Transformation*. 10. Auflage, VDE Verlag, 2011

- [1] Noll, P.: *Signale und Systeme*. Skript, TU Berlin
- [2] Rennert, I.; Bundschuh, B.: *Signale und Systeme. Eine Einführung in die Signaltheorie*. Hanser, 2013.
- [3] Kammeyer, K. D.; Kroschel, K.: *Digitale Signalverarbeitung: Filterung und Spektralanalyse mit MATLAB-Übungen*. Teubner Studienbücher, 2018.
- [4] von Grünigen, D. C.: *Digitale Signalverarbeitung*. Hanser, 2014.
- [5] Hayes, M. H.: *Statistical Digital Signal Processing and Modeling*. J. Wiley & Sons, 1996.
- [6] Best, R.: *Digitale Messwertverarbeitung*. Oldenbourg Verlag, 1991.
- [7] Azizi, S. A *Entwurf und Realisierung digitaler Filter*. Oldenbourg Verlag, 1981.
- [8] Brigham, E. O.: *FFT*. Oldenbourg Verlag, 1985.
- [9] Kay, S. M.: *Modern Spectral Estimation*. Prentice-Hall, 1988.
- [10] Gühmann, C.: *Skript Messdatenverarbeitung*. TU Berlin, 2016.

- [1] Kiencke, U.; Schwarz, M.; Weickert, T.: *Signalverarbeitung. Zeit-Frequenz-Analyse und Schätzverfahren*. Oldenbourg Verlag, 2008.
- [2] Mertins, A.: *Signaltheorie: Grundlagen der Signalbeschreibung, Filterbänke, Wavelets, Zeit-Frequenz-Analyse, Parameter- und Signalschätzung*. Vieweg-Teubner, 2020.
- [3] Louis, A. K.; Maaß P.; Riede, A.: *Wavelets*. Teubner Studienbücher, 1998.
- [4] Bäni, W.: *Wavelets - Eine Einführung für Ingenieure*. Oldenbourg Verlag, 2001.
- [5] Mallat, S.: *Wavelet Tour of Signal Processing. The Sparse Way*. Elsevier, 2009.

1. Einleitung

1.1 Organisation

1.2 Lernziele

1.3 Praktikum/Übung

1.4 Literatur

1.5 Anwendungsbeispiele

1.5.1 Klopfen eines Ottomotors

1.5.2 Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

1. Einleitung

1.1 Organisation

1.2 Lernziele

1.3 Praktikum/Übung

1.4 Literatur

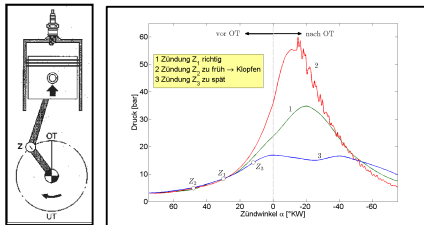
1.5 Anwendungsbeispiele

1.5.1 Klopfen eines Ottomotors

1.5.2 Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Anwendungsbeispiele

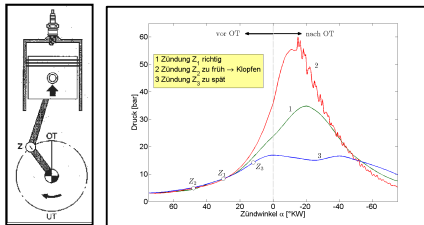
Klopfen eines Ottomotors - Applikation des Zündwinkels



- ▶ Maximierung Wirkungsgrad und Leistung \rightarrow Zündwinkel früh
- ▶ Durch plötzliche und unkontrollierte Entzündung des noch unverbrannten Endgases an einer Stelle im Brennraum kann es zum Klopfen kommen
- ▶ Erfassung des Körperschalls mittels Klopfsensor (Serie)
- ▶ Aufgabe in der MDV: Klopfapplikation - Auslegung der Messkette zur Erkennung des Klopfens

Anwendungsbeispiele

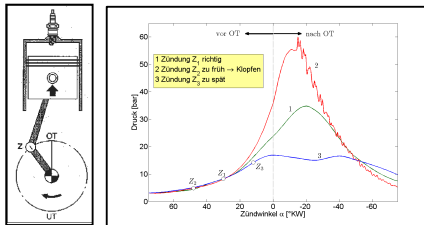
Klopfen eines Ottomotors - Applikation des Zündwinkels



- ▶ Maximierung Wirkungsgrad und Leistung \rightarrow Zündwinkel früh
- ▶ Durch plötzliche und unkontrollierte Entzündung des noch unverbrannten Endgases an einer Stelle im Brennraum kann es zum Klopfen kommen
- ▶ Erfassung des Körperschalls mittels Klopfsensor (Serie)
- ▶ Aufgabe in der MDV: Klopfapplikation - Auslegung der Messkette zur Erkennung des Klopfens

Anwendungsbeispiele

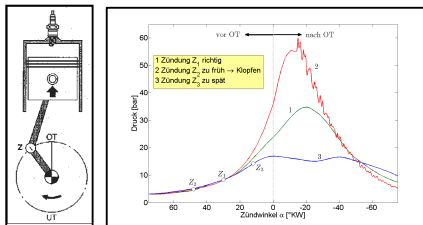
Klopfen eines Ottomotors - Applikation des Zündwinkels



- ▶ Maximierung Wirkungsgrad und Leistung \rightarrow Zündwinkel früh
- ▶ Durch plötzliche und unkontrollierte Entzündung des noch unverbrannten Endgases an einer Stelle im Brennraum kann es zum Klopfen kommen
- ▶ Erfassung des Körperschalls mittels Klopfsensor (Serie)
- ▶ Aufgabe in der MDV: Klopfapplikation - Auslegung der Messkette zur Erkennung des Klopfens

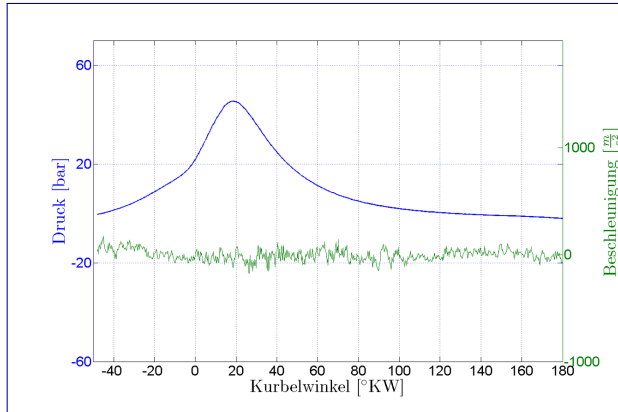
Anwendungsbeispiele

Klopfen eines Ottomotors - Applikation des Zündwinkels

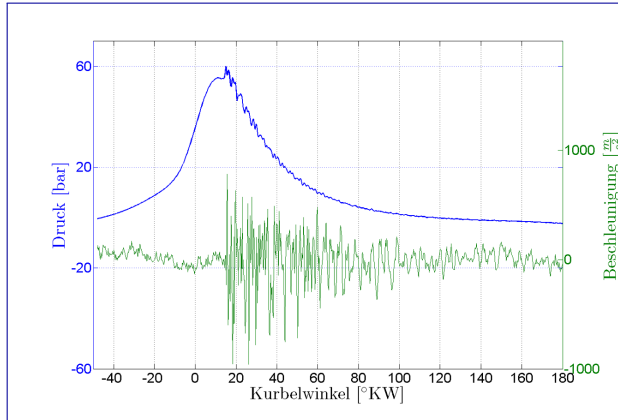


- ▶ Maximierung Wirkungsgrad und Leistung → Zündwinkel früh
- ▶ Durch plötzliche und unkontrollierte Entzündung des noch unverbrannten Endgases an einer Stelle im Brennraum kann es zum Klopfen kommen
- ▶ Erfassung des Körperschalls mittels Klopfsensor (Serie)
- ▶ Aufgabe in der MDV: Klopfapplikation - Auslegung der Messkette zur Erkennung des Klopfens

Nichtklopfende Verbrennung - Druck und Beschleunigung



Klopfende Verbrennung - Druck und Beschleunigung



Messkette zur Applikation der Klopfkerkennung



- 1 Klopfsensor
- 2 Vorverstärker
- 3 Anti-Aliasing-Tiefpassfilter
- 4 Vorverstärker

- 5 Abtast-und-Halteglied mit ADU
- 6 Bandpass (digital)
- 7 Gleichrichter (digital)
- 8 Integrierer (digital)

1. Einleitung

1.1 Organisation

1.2 Lernziele

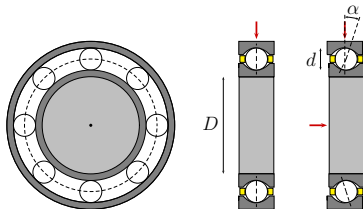
1.3 Praktikum/Übung

1.4 Literatur

1.5 Anwendungsbeispiele

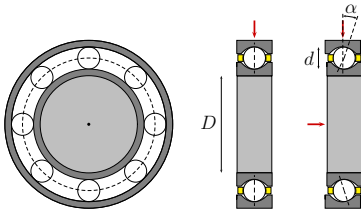
1.5.1 Klopfen eines Ottomotors

1.5.2 Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern



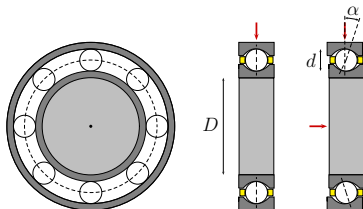
¹ Robert, Bond, Randall: *Vibration-based Condition Monitoring - Industrial, Aerospace and Automotive Applications*. Wiley, 2011

Diagnose partikulärer Defekte an Kugellagern¹



- ▶ Kugellager gehören bei rotierenden Maschinen zu den Elementen, die verschleiben und dadurch häufig zu Defekten führen.
- ▶ Treten partikuläre Schäden des Innen-, Außenrings, des Käfigs oder der Rollkörper (Kugeln) auf, werden impulsförmige Stoßanregungen erzeugt.
- ▶ Diese Grundfrequenz der Stoßanregungen ist durch die geometrischen Parameter und der Drehfrequenz f_D bestimmbar.
- ▶ d : Durchmesser Rollkörper, D : Durchmesser Käfig
 α : Druckwinkel

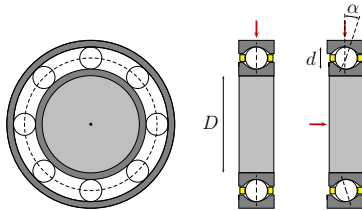
¹ Robert, Bond, Randall: *Vibration-based Condition Monitoring - Industrial, Aerospace and Automotive Applications*. Wiley, 2011



- ▶ Kugellager gehören bei rotierenden Maschinen zu den Elementen, die verschleiben und dadurch häufig zu Defekten führen.
- ▶ Treten partikuläre Schäden des Innen-, Außenrings, des Käfigs oder der Rollkörper (Kugeln) auf, werden impulsförmige Stoßanregungen erzeugt.
- ▶ Diese Grundfrequenz der Stoßanregungen ist durch die geometrischen Parameter und der Drehfrequenz f_D bestimmbar.
- ▶ d : Durchmesser Rollkörper, D : Durchmesser Käfig
 α : Druckwinkel

¹ Robert, Bond, Randall: *Vibration-based Condition Monitoring - Industrial, Aerospace and Automotive Applications*. Wiley, 2011

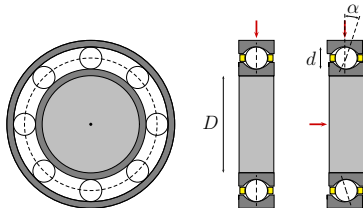
Diagnose partikulärer Defekte an Kugellagern¹



- ▶ Kugellager gehören bei rotierenden Maschinen zu den Elementen, die verschleiben und dadurch häufig zu Defekten führen.
- ▶ Treten partikuläre Schäden des Innen-, Außenrings, des Käfigs oder der Rollkörper (Kugeln) auf, werden impulsförmige Stoßanregungen erzeugt.
- ▶ Diese Grundfrequenz der Stoßanregungen ist durch die geometrischen Parameter und der Drehfrequenz f_D bestimmbar.
- ▶ d : Durchmesser Rollkörper, D : Durchmesser Käfig
 α : Druckwinkel

¹ Robert, Bond, Randall: *Vibration-based Condition Monitoring - Industrial, Aerospace and Automotive Applications*. Wiley, 2011

Diagnose partikulärer Defekte an Kugellagern¹



Überrollfrequenzen bei Schäden:

$$\text{Innenring: } f_I = \frac{f_D z}{2} \left(1 + \frac{d \cos(\alpha)}{D} \right)$$

$$\text{Außenring: } f_A = \frac{f_D z}{2} \left(1 - \frac{d \cos(\alpha)}{D} \right)$$

$$\text{Käfig: } f_K = \frac{f_D}{2} \left(1 - \frac{d \cos(\alpha)}{D} \right)$$

$$\text{Kugel: } f_B = \frac{f_D z}{2} \left(\frac{D}{d} - \frac{d^2 (\cos(\alpha))^2}{D^2} \right)$$

- ▶ Kugellager gehören bei rotierenden Maschinen zu den Elementen, die verschleiben und dadurch häufig zu Defekten führen.
- ▶ Treten partikuläre Schäden des Innen-, Außenrings, des Käfigs oder der Rollkörper (Kugeln) auf, werden impulsförmige Stoßanregungen erzeugt.
- ▶ Diese Grundfrequenz der Stoßanregungen ist durch die geometrischen Parameter und der Drehfrequenz f_D bestimmbar.
- ▶ d : Durchmesser Rollkörper, D : Durchmesser Käfig
 α : Druckwinkel

¹ Robert, Bond, Randall: *Vibration-based Condition Monitoring - Industrial, Aerospace and Automotive Applications*. Wiley, 2011

Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Messkette

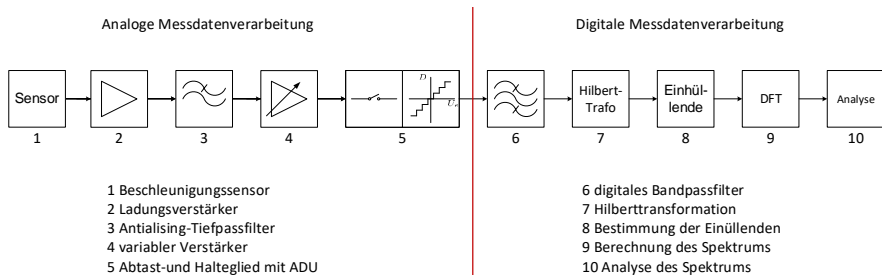
- ▶ Zur Diagnose können z.B mit Hilfe eines Beschleunigungssensors die Vibrationen des Lagers ausgewertet werden.
- ▶ Die hierzu erforderliche Messkette enthält sowohl analoge als auch digitale Komponenten.

Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Messkette

- Zur Diagnose können z.B. mit Hilfe eines Beschleunigungssensors die Vibrationen des Lagers ausgewertet werden.
- Die hierzu erforderliche Messkette enthält sowohl analoge als auch digitale Komponenten.



Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Es werden die Daten für ein fehlerfreies Lager und ein Lager mit einem Fehler im Außenring analysiert².

Originalsignal fehlerfrei

Originalsignal - Fehler Außenring

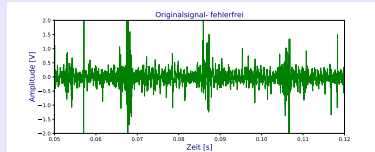
²Die Daten stammen aus dem KAT-DataCenter. Website of the Chair of Design and Drive Technology, Paderborn University, Germany:
<http://mb.uni-paderborn.de/kat/datacenter>

Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Es werden die Daten für ein fehlerfreies Lager und ein Lager mit einem Fehler im Außenring analysiert².

Originalsignal fehlerfrei



Originalsignal - Fehler Außenring

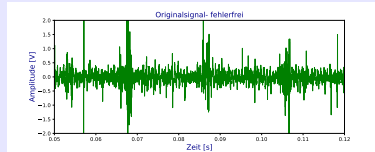
²Die Daten stammen aus dem KAT-DataCenter. Website of the Chair of Design and Drive Technology, Paderborn University, Germany:
<http://mb.uni-paderborn.de/kat/datacenter>

Anwendungsbeispiele

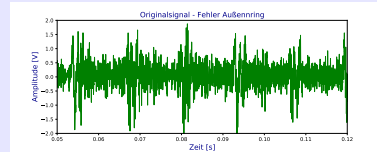
Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Es werden die Daten für ein fehlerfreies Lager und ein Lager mit einem Fehler im Außenring analysiert².

Originalsignal fehlerfrei



Originalsignal - Fehler Außenring



²Die Daten stammen aus dem KAT-DataCenter. Website of the Chair of Design and Drive Technology, Paderborn University, Germany:
<http://mb.uni-paderborn.de/kat/datacenter>

Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Anschließend erfolgt eine Bandpassfilterung mit einer Mittenfrequenz, die problemangepasst z.B. auf die Resonanzfrequenz des Systems abgestimmt ist. Bei uns $f_M = 3350 \text{ Hz}$ (Stufe 6 in der Messkette)

Betragsfrequenzgang - FIR-Filter

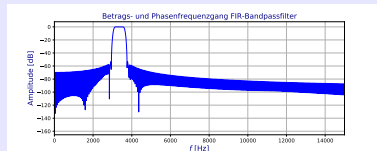
Phasenfrequenzgang - FIR-Filter

Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Anschließend erfolgt eine Bandpassfilterung mit einer Mittenfrequenz, die problemangepasst z.B. auf die Resonanzfrequenz des Systems abgestimmt ist. Bei uns $f_M = 3350 \text{ Hz}$ (Stufe 6 in der Messkette)

Betragsfrequenzgang - FIR-Filter



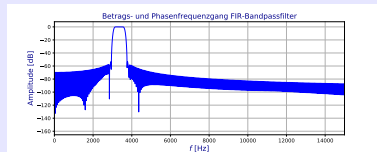
Phasenfrequenzgang - FIR-Filter

Anwendungsbeispiele

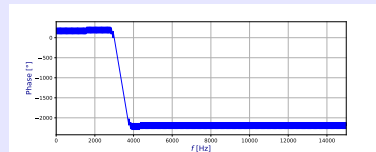
Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Anschließend erfolgt eine Bandpassfilterung mit einer Mittenfrequenz, die problemangepasst z.B. auf die Resonanzfrequenz des Systems abgestimmt ist. Bei uns $f_M = 3350 \text{ Hz}$ (Stufe 6 in der Messkette)

Betragsfrequenzgang - FIR-Filter



Phasenfrequenzgang - FIR-Filter



Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Mit Hilfe der Hilberttransformation kann aus dem bandpassgefilterten Signal (grün) ein analytisches Signal erzeugt werden, aus dem sich die Einhüllende (rot) bilden lässt. Zur Diagnose eignet sich das einhüllende Signal besser. (Stufen 7 und 8 in der Messkette)

Einhüllende - fehlerfrei

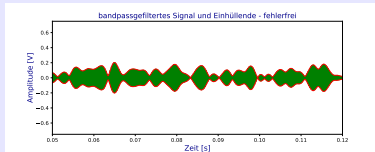
Einhüllende - Fehler Außenring

Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Mit Hilfe der Hilberttransformation kann aus dem bandpassgefilterten Signal (grün) ein analytisches Signal erzeugt werden, aus dem sich die Einhüllende (rot) bilden lässt. Zur Diagnose eignet sich das einhüllende Signal besser. (Stufen 7 und 8 in der Messkette)

Einhüllende - fehlerfrei



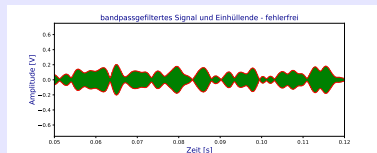
Einhüllende - Fehler Außenring

Anwendungsbeispiele

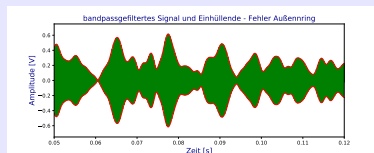
Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Mit Hilfe der Hilberttransformation kann aus dem bandpassgefilterten Signal (grün) ein analytisches Signal erzeugt werden, aus dem sich die Einhüllende (rot) bilden lässt. Zur Diagnose eignet sich das einhüllende Signal besser. (Stufen 7 und 8 in der Messkette)

Einhüllende - fehlerfrei



Einhüllende - Fehler Außenring

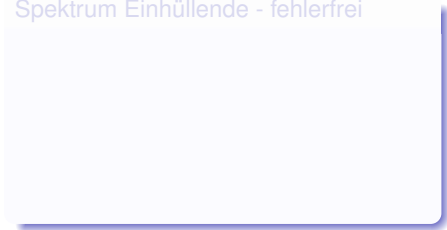


Anwendungsbeispiele

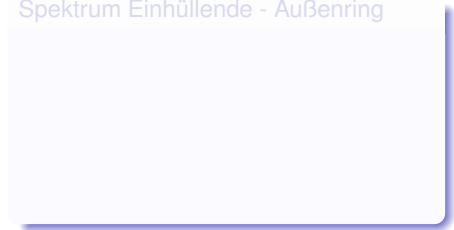
Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Eine Analyse und Merkmalsbildung ist abschließend durch die Auswertung der Spektren (Diskrete Fouriertransformation) möglich. (Stufen 9 und 10 in der Messkette). Es sind deutlich die Amplituden der Überrollfrequenz $f_A = 76.8 \text{ Hz}$ des Außenringes und deren Vielfachen im Fehlerfall stärker ausgeprägt.

Spektrum Einhüllende - fehlerfrei



Spektrum Einhüllende - Außenring

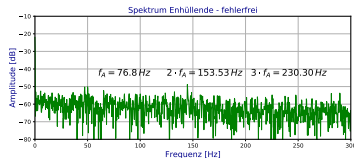


Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Eine Analyse und Merkmalsbildung ist abschließend durch die Auswertung der Spektren (Diskrete Fouriertransformation) möglich. (Stufen 9 und 10 in der Messkette). Es sind deutlich die Amplituden der Überrollfrequenz $f_A = 76.8 \text{ Hz}$ des Außenringes und deren Vielfachen im Fehlerfall stärker ausgeprägt.

Spektrum Einhüllende - fehlerfrei



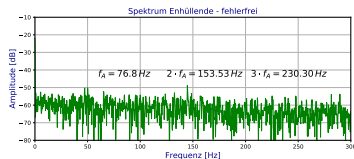
Spektrum Einhüllende - Außenring

Anwendungsbeispiele

Messdatenverarbeitung zur Diagnose von Kugellagern

Eine Analyse und Merkmalsbildung ist abschließend durch die Auswertung der Spektren (Diskrete Fouriertransformation) möglich. (Stufen 9 und 10 in der Messkette). Es sind deutlich die Amplituden der Überrollfrequenz $f_A = 76.8 \text{ Hz}$ des Außenringes und deren Vielfachen im Fehlerfall stärker ausgeprägt.

Spektrum Einhüllende - fehlerfrei



Spektrum Einhüllende - Außenring

