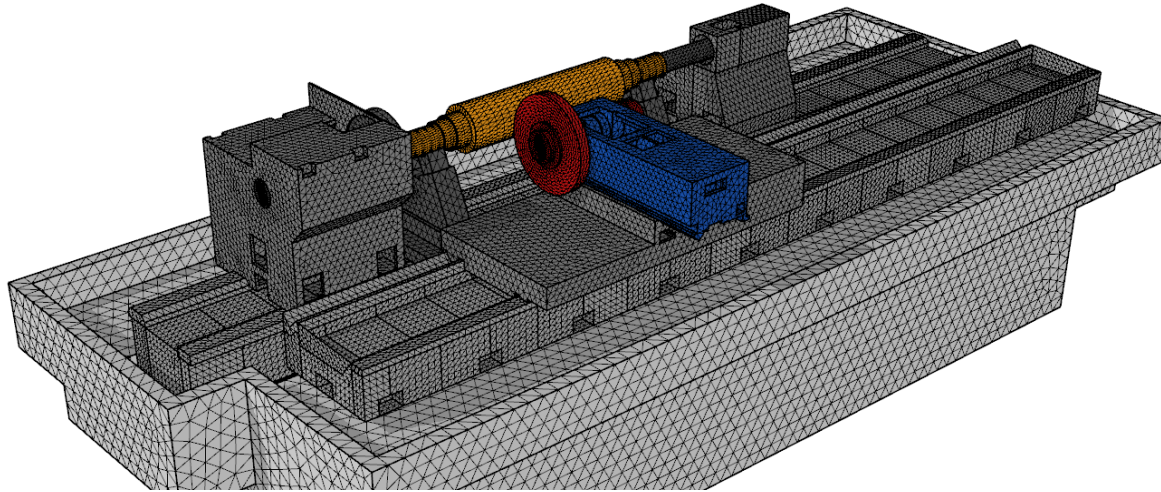


**Messung und Beurteilung von Schwingungen
in Schleif- und Abrichtprozessen**

Schleiftagung, Fellbach, 14. Februar 2019

**Dr.-Ing. Severin Hannig
planlauf GmbH, Aachen**



**Produkte und Dienstleistungen:
Berechnung**

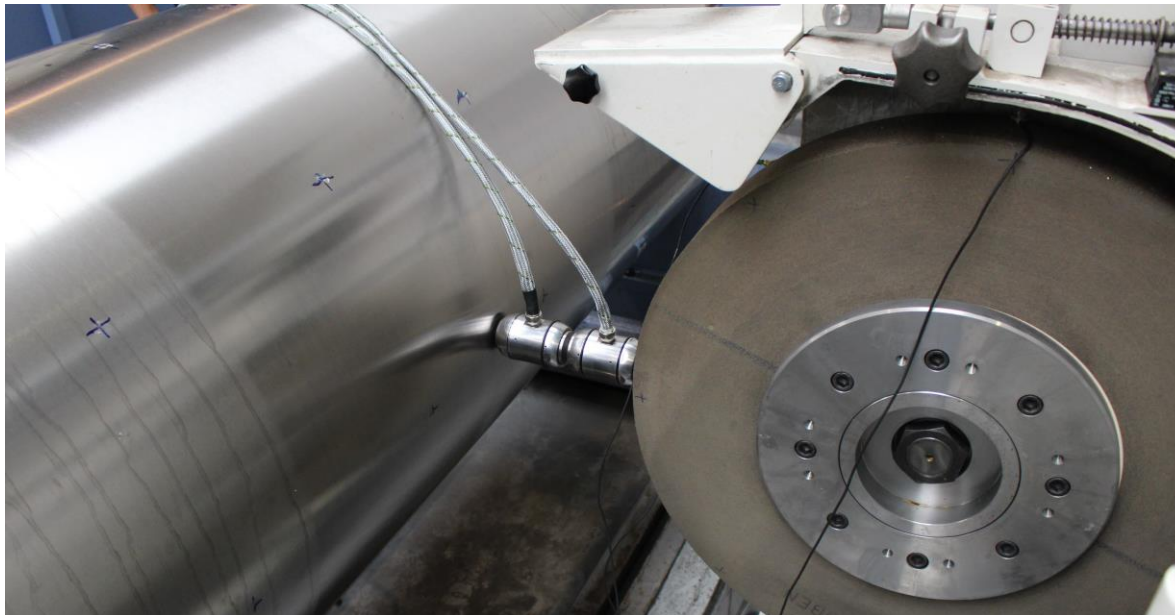
- Berechnung der Strukturmechanik
- Mechatroniksimulation
- Zerspansimulation
- Fundamentanalyse
- Werkzeugberechnung

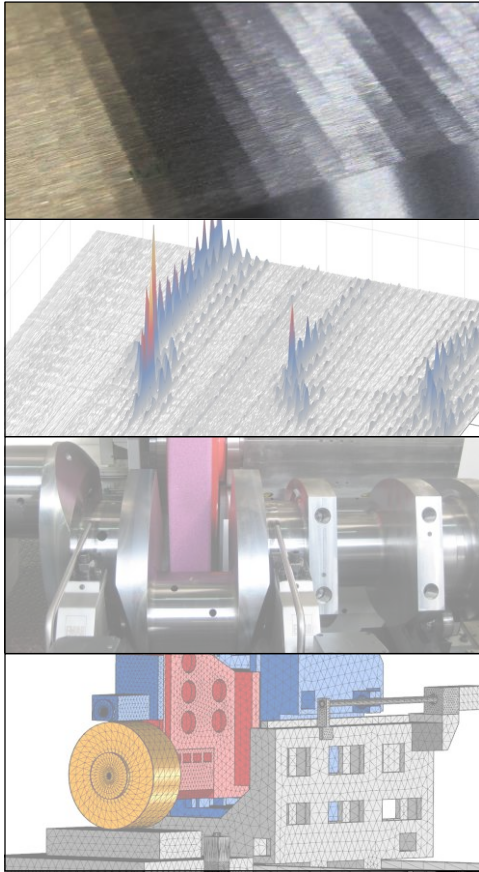
Messung

- Verlagerungen / Zerspankräfte
- Schwingungen / Steifigkeiten
- Modalanalyse / Frequenzgänge
- Geometrie / dyn. Spindelrundlauf
- Boden- / Fundamentanalysen
- Langzeitüberwachung von Maschinen

Entwicklung

- Schwingungserreger und -dämpfer
- Messelektronik
- Mess- und Berechnungsprogramme





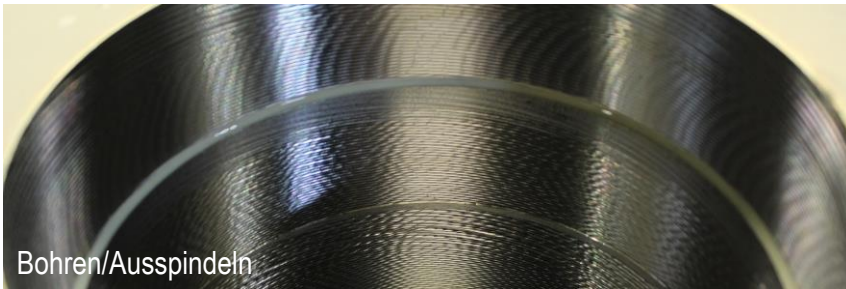
- Schwingungsarten & Ursachentrennung
- Problembeispiele & Qualitätsauswirkung
- Schwingungsrisiken spezieller Maschinentypen
- Dynamikoptimierung & Schwingungsvermeidung



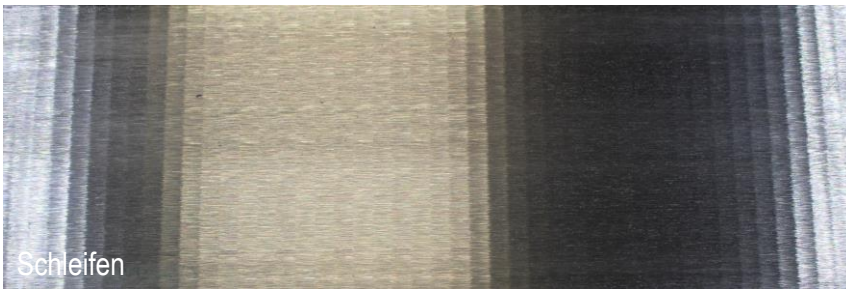
Fräsen



Drehen



Bohren/Ausspindeln



Schleifen

Fremderregte Schwingungen

INTERN:

- Unwucht-, Antriebs-, Getriebe- oder Riemenschwingung
- Lagerschaden, Hydraulikpulsation, sonstige Aggregate

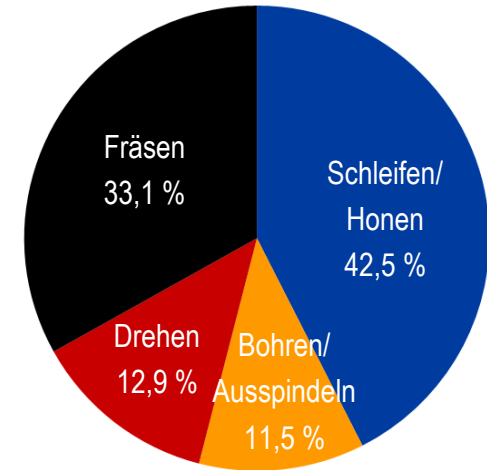
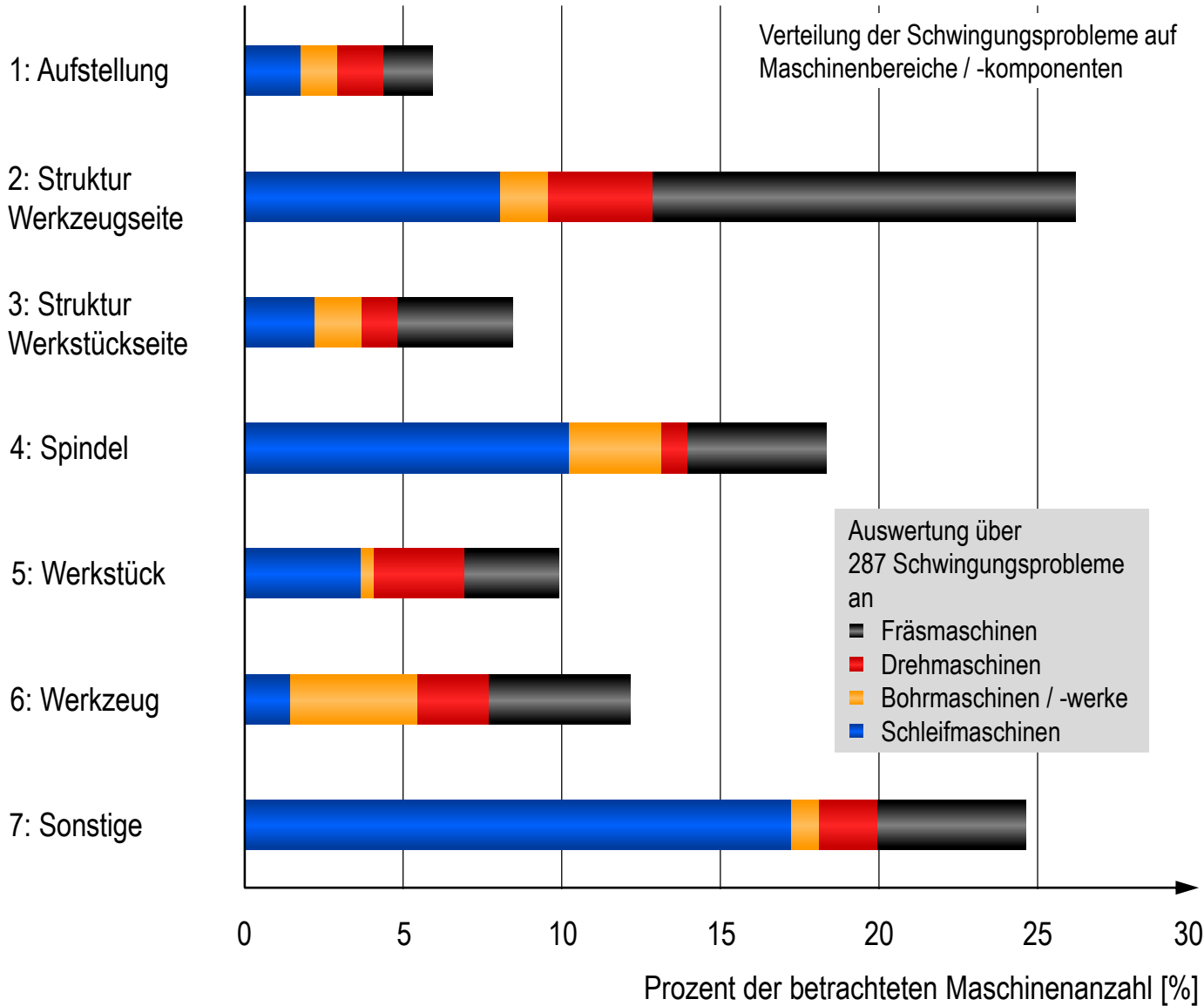
EXTERN:

- Nachbarmaschinen
- Stapler-, Straßen- oder Bahnverkehr

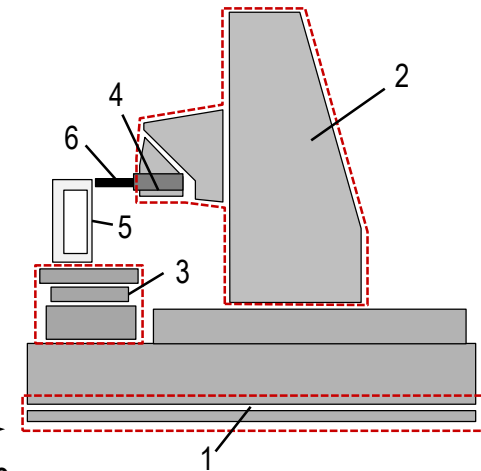
Selbsterregte Schwingungen / Resonanz

- Überschwingen nach dynamischen Kraftänderungen
- Werkstückseitiger Regenerativeffekt (Ratterschwingungen)
- Schleifscheibenseitiger Regenerativeffekt (Ratterschwingungen)
- Welligkeitsabbildung nach selbsterregten Schwingungen beim Abrichten

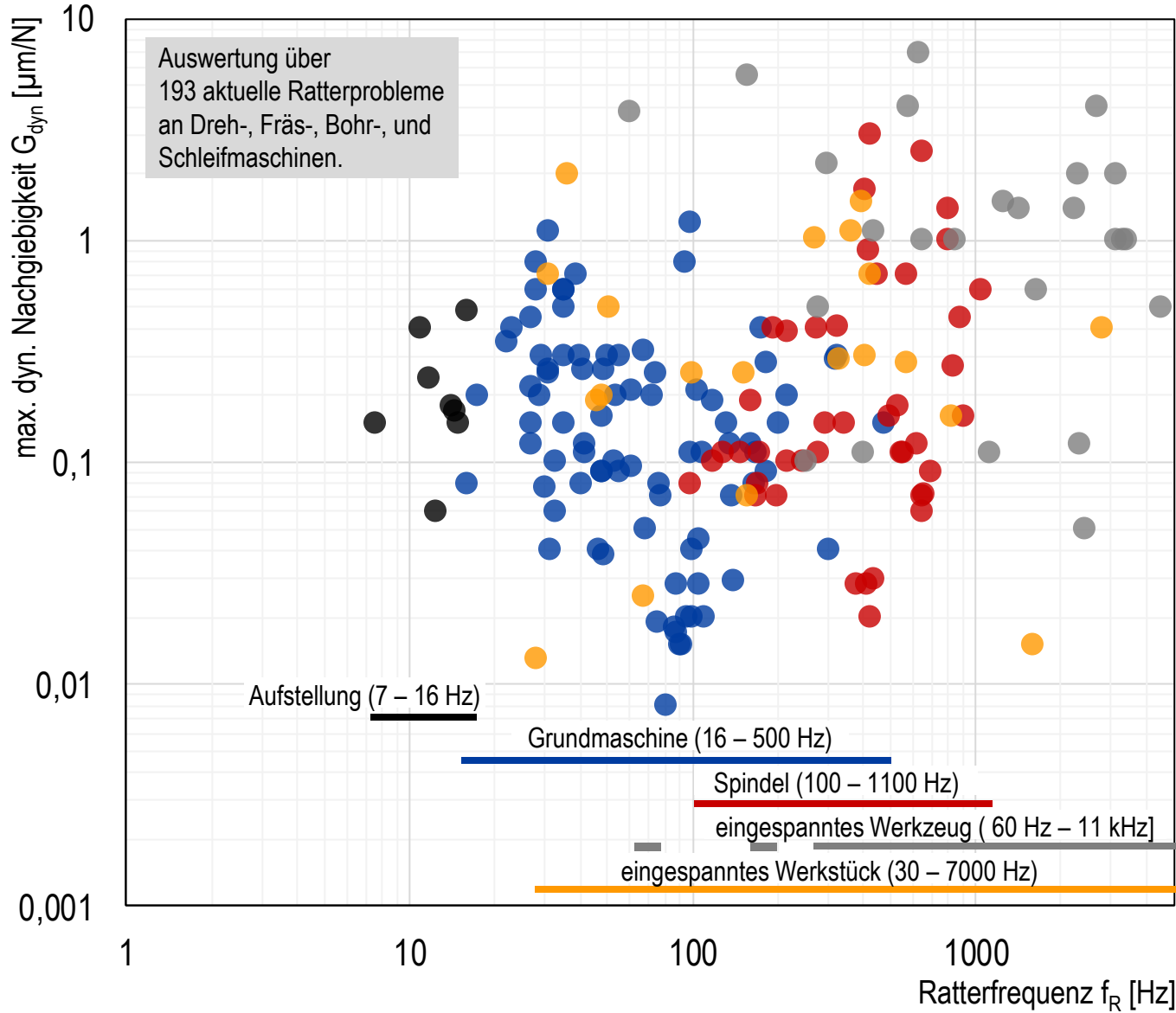
Verteilung der Schwingungsprobleme auf Prozessarten und Maschinenbereiche bzw. -komponenten



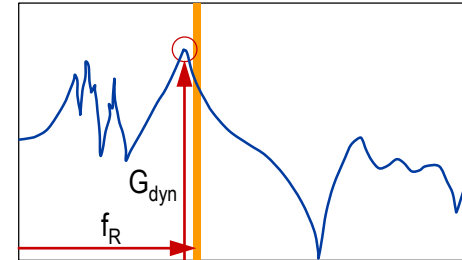
Verteilung der Schwingungsprobleme auf die Prozessarten



Schwingungsprobleme an Produktionsmaschinen können in einem großen Frequenz- und Nachgiebigkeitsbereich auftreten



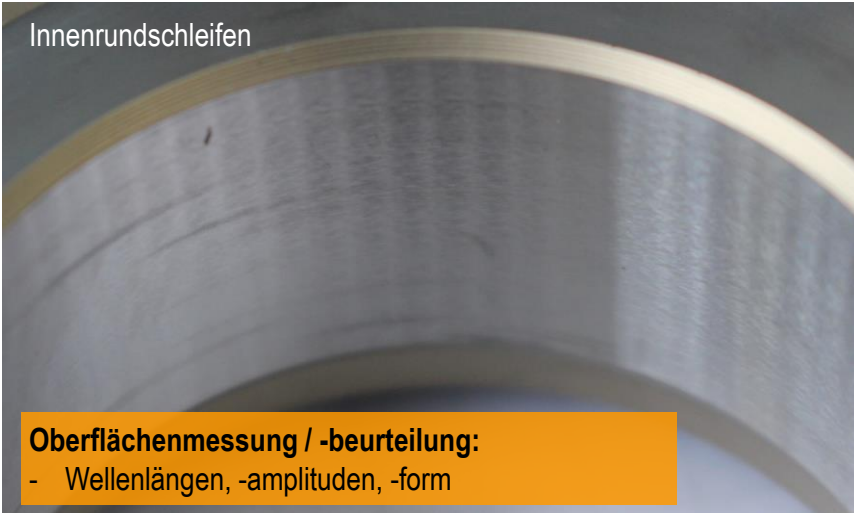
Dargestellt ist die verursachende maximale dynamische Nachgiebigkeit über der resultierenden Ratterfrequenz für eine Auswahl von Problemuntersuchungen an Produktionsmaschinen.



4 Beispiele von Werkzeugen bzw. Werkstücken zeigten Ratterfrequenzen oberhalb von 5 kHz.

Vier Messschritte führen bei Schwingungsphänomenen vieler Maschinentypen zur Problemursache

Innenrundsleifen



Oberflächenmessung / -beurteilung:

- Wellenlängen, -amplituden, -form

Außenrundsleifen

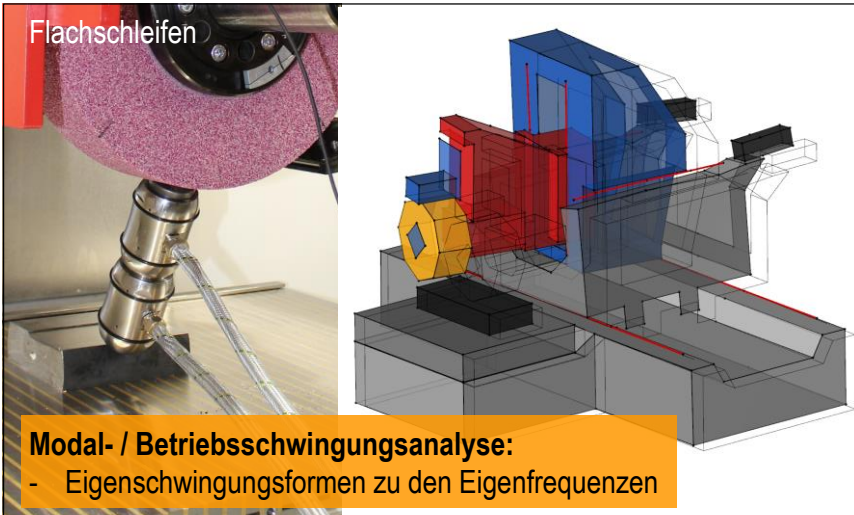


Schwingungsmessung mit Prozessvariationen:

- Schwingungsfrequenzen, -amplituden, -richtungen

Ursache

Flachsleifen



Modal- / Betriebsschwingungsanalyse:

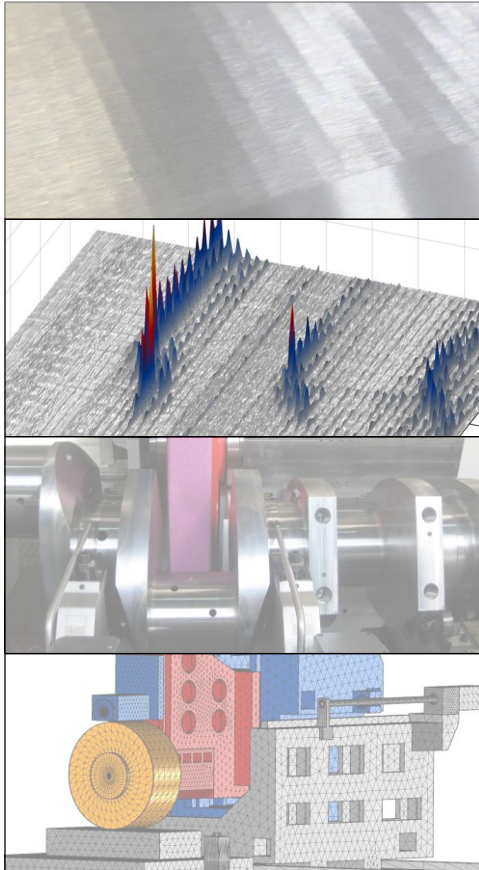
- Eigenschwingungsformen zu den Eigenfrequenzen

Kurbelwellenschleifen

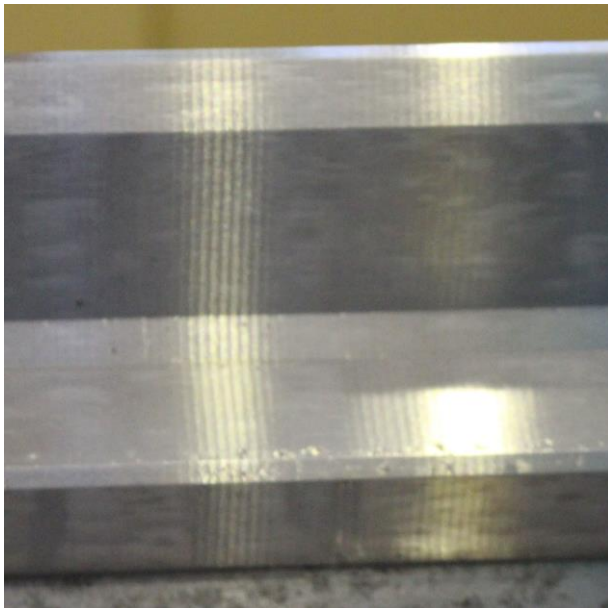


Nachgiebigkeitsmessungen mit Positionsvariation:

- Eigenfrequenzen, dyn. Nachgiebigkeitsmaxima



- Schwingungsarten & Ursachentrennung
- Problembeispiele & Qualitätsauswirkung
- Schwingungsrisiken spezieller Maschinentypen
- Dynamikoptimierung & Schwingungsvermeidung



Charakteristik

- Abhängigkeit der Wellenlänge λ von Werkstückgeschwindigkeit v_W und Scheibendrehfrequenz f_S
- Welligkeit oft nicht sinusförmig (Scheibenabbild, s.u.)
- Werkstückoberfläche zeigt gruppierte Einschlüge (Rückhub, s.u.)

$$\lambda = \frac{v_W}{f_S}$$

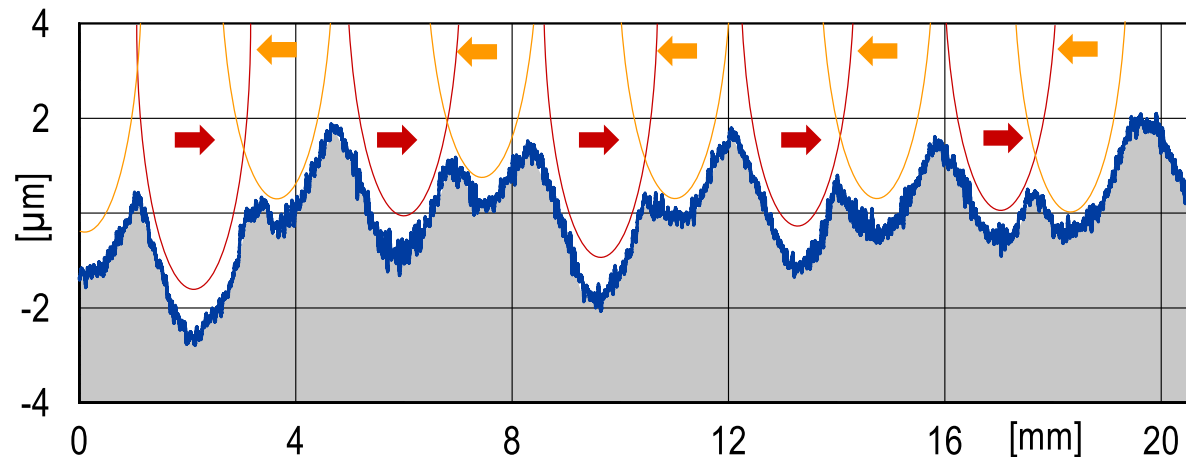
Ungünstige Faktoren (Flatschleifen)

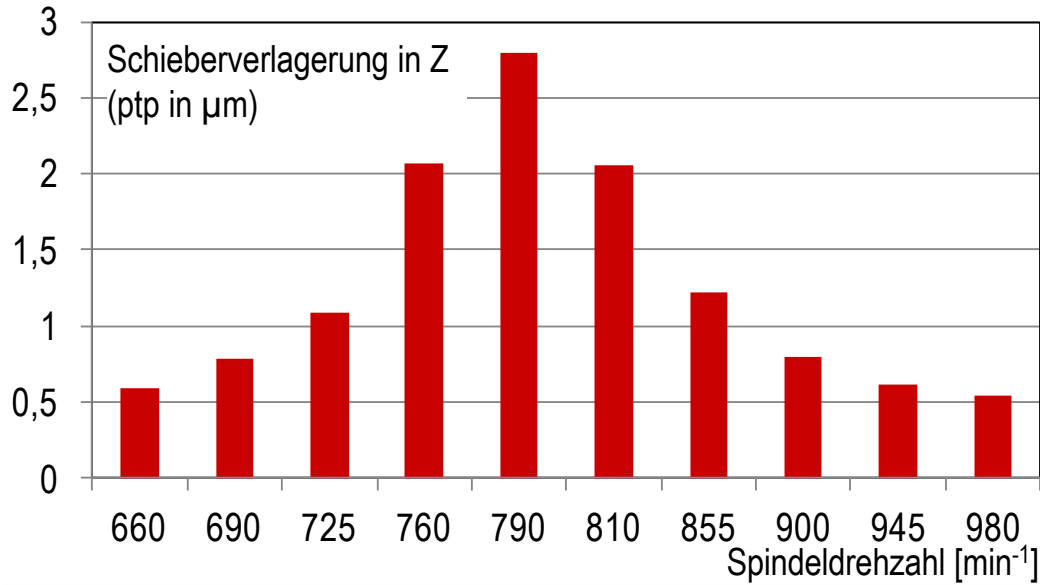
- Abrichtdrehzahlverhältnis q_n nahe 1
- Ganzzahliges Produkt aus Pendelhubzeit T_H und Scheibendrehzahl n_S
- Drehfrequenz f_S trifft eine Eigenfrequenz f_{Res} der Maschine

$$q_n = \frac{n_A}{n_S} = 1$$

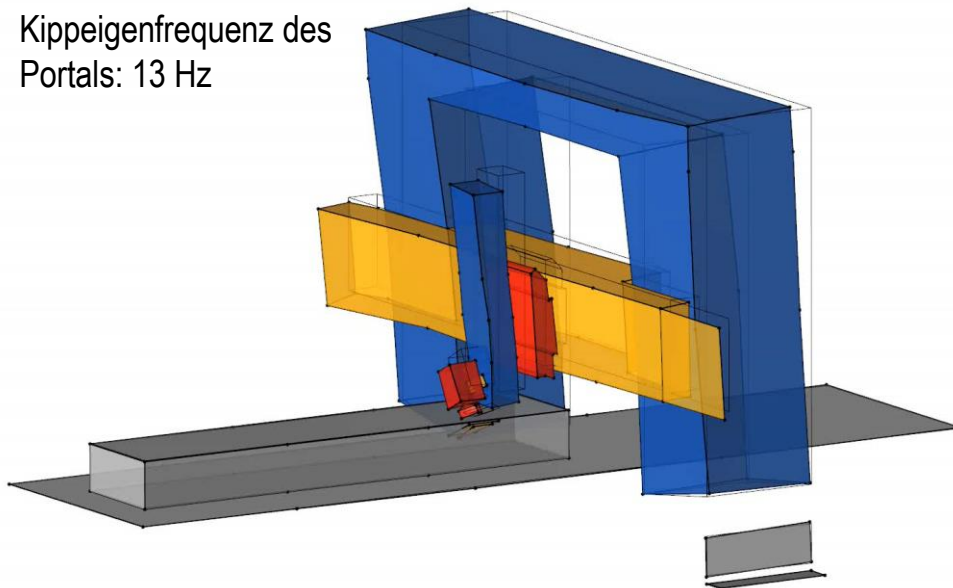
$$X = T_H \cdot n_S = \text{ganzzahlig}$$

$$f_S \approx f_{Res}$$

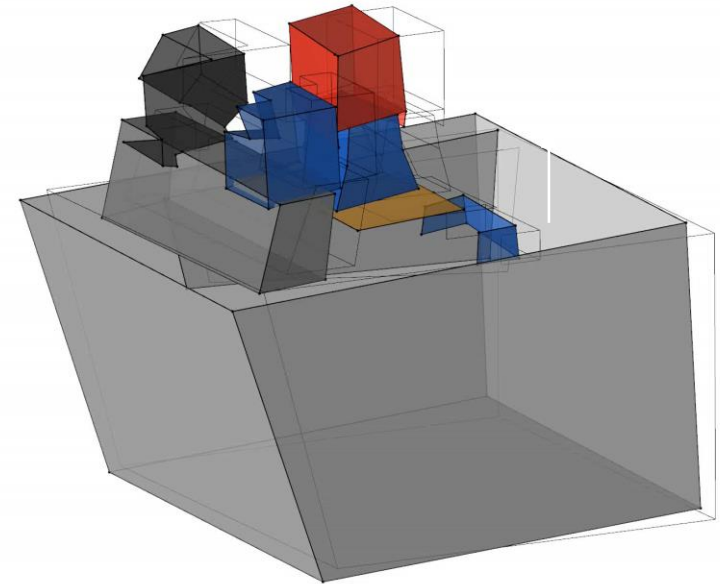
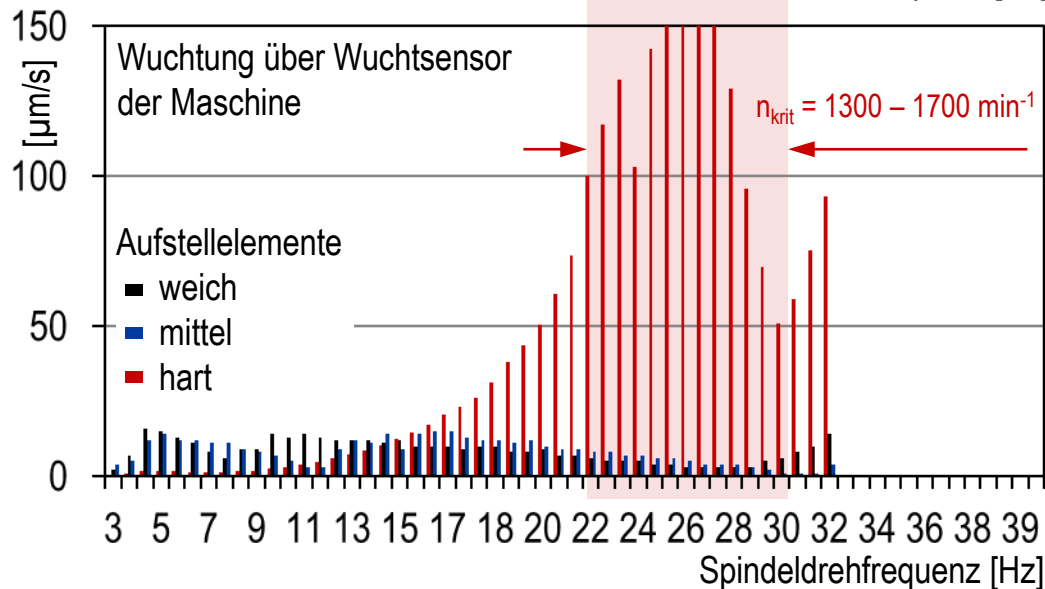
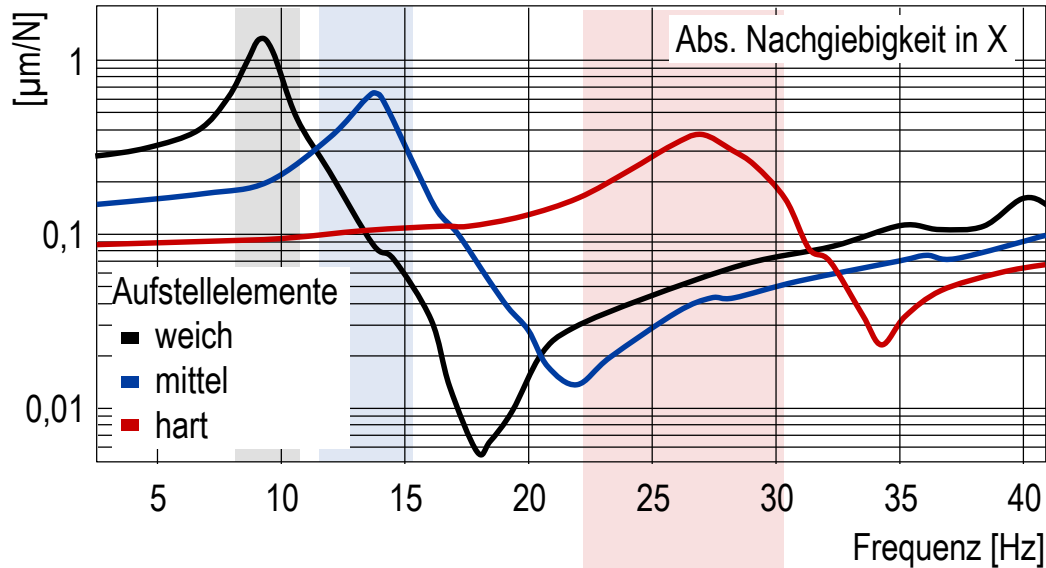




Kippeigenfrequenz des Portals: 13 Hz



Ungünstig: Unwucht trifft Portaleigenfrequenz und führt zu Facetten beim Schleifen
 Kippeigenfrequenz des Portals: 13 Hz
 Schleifdrehzahl: $n_s = 790 \text{ min}^{-1} \rightarrow f_s = 13,2 \text{ Hz}$

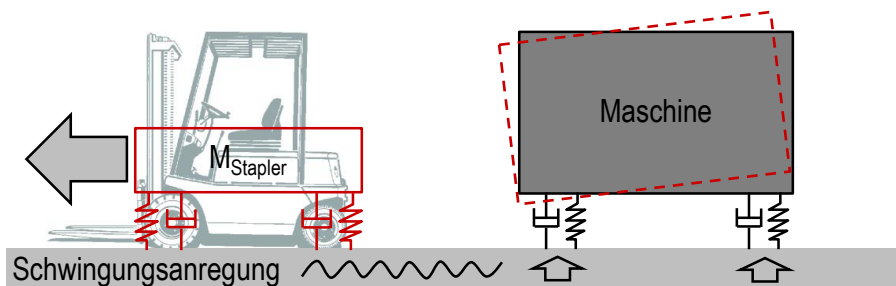


Betriebschwingungsanalyse ($n_s = 1560 \text{ min}^{-1}$)



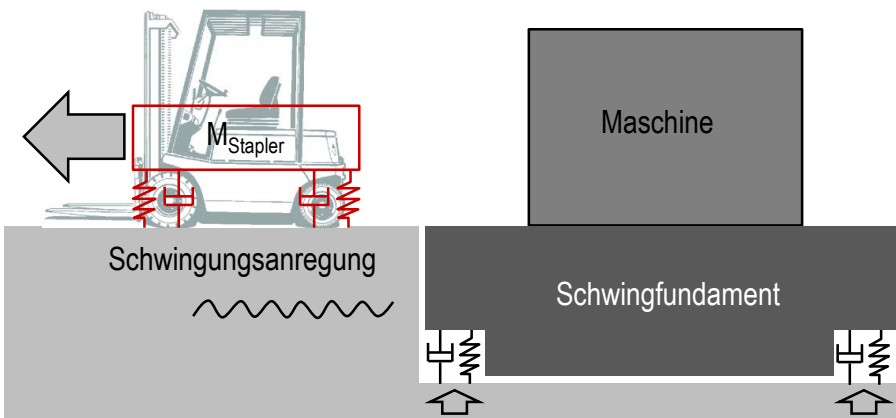
Variation der Aufstellelemente

Ungünstig: Drehfrequenz bei Betriebsdrehzahl trifft die Aufstelleigenfrequenz (harte Aufstellung) und führt zu Schwierigkeiten bei der Wuchtung



Direkte weiche Aufstellung

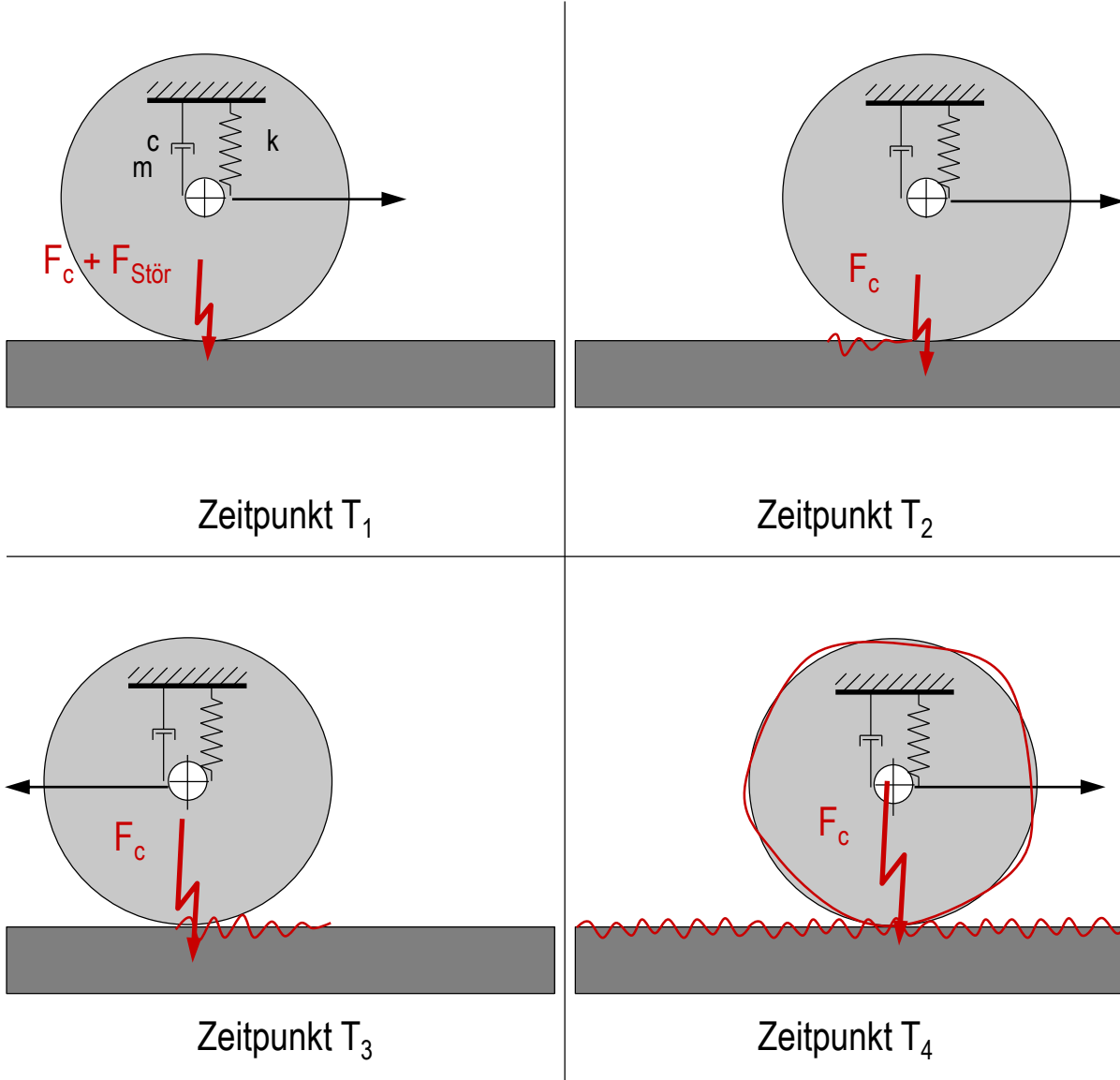
- Starkes Überschwingen bei Achsbewegungen (Probleme mit Peripherie / Bauhöhe)
- Isolationsfrequenz 3 – 4 Hz über Gummielemente kaum erreichbar



Aufstellung auf einem Schwingfundament

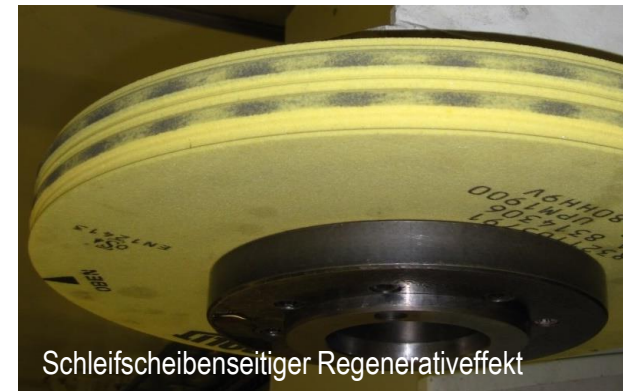
- Schwingungsisolierung (3 – 4 Hz) erreichbar / gleiche Bauhöhe
- Fundamentmasse reduziert Überschwingen bei Achsbewegungen
- Teure, aufwendige Fundamentart



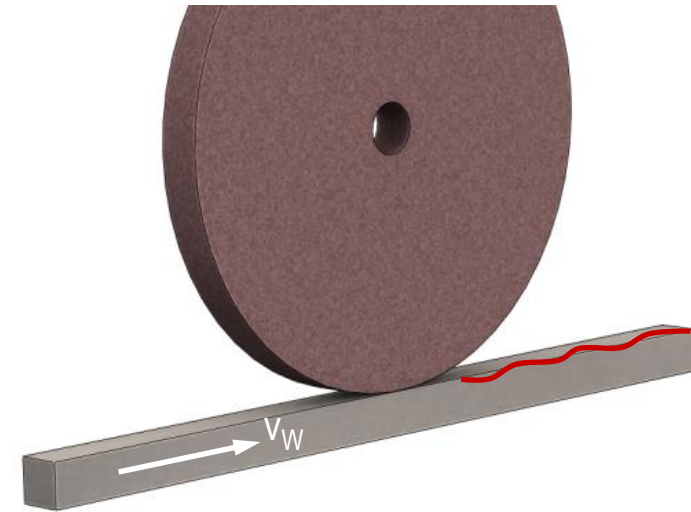
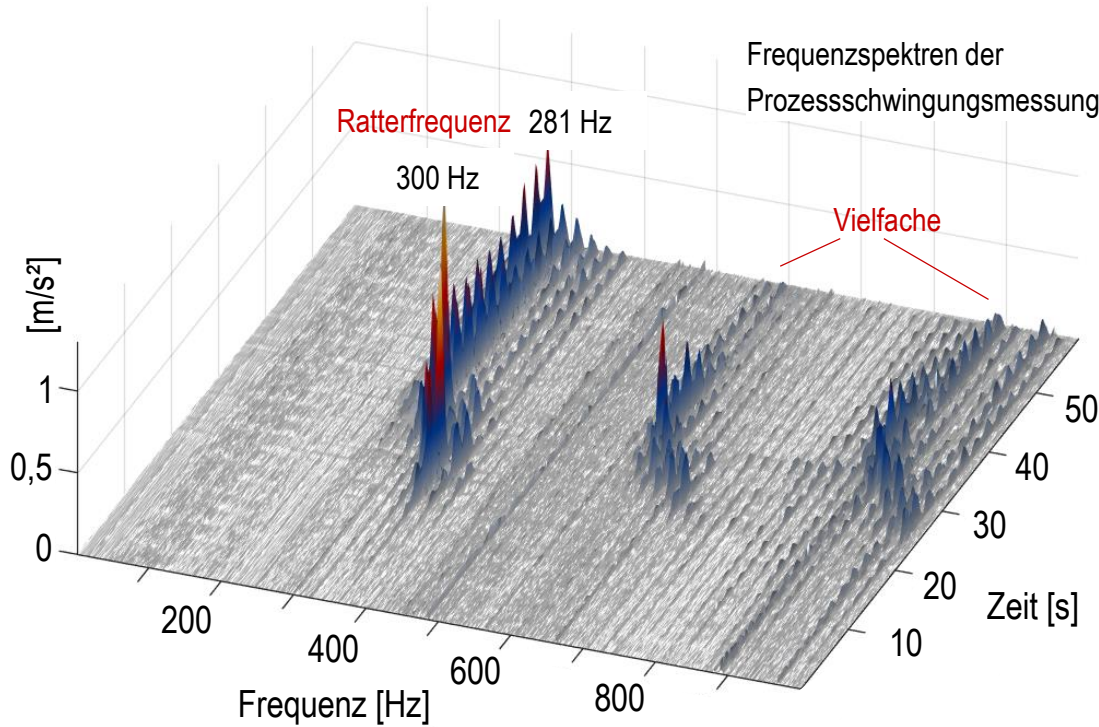


Der Mechanismus des Ratterns

- T_1 : Äußere Störkräfte erzeugen eine Relativverlagerung zwischen Scheibe und Bauteil.
- T_2 : Die resultierende Schwingung klingt dämpfungsbedingt wieder ab.
- T_3 : Im Rückhub führt die Welligkeit im zu einer Schleifkraftänderung.
- T_4 : Von Überschleiß zu Überschleiß breitet sich die Welligkeit weiter aus, bis die Rattermarken auf dem gesamten Werkstück vorhanden sind.
- Verschleißbedingt ist die Welligkeitsbildung auch auf der Scheibe möglich.

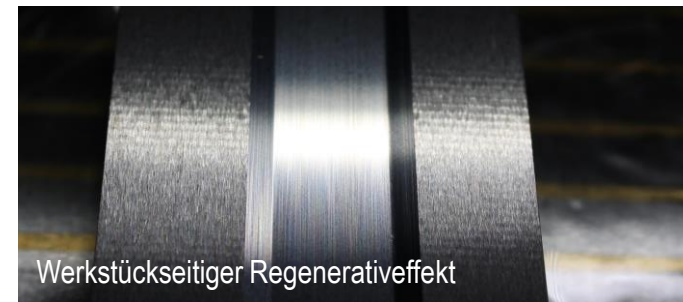
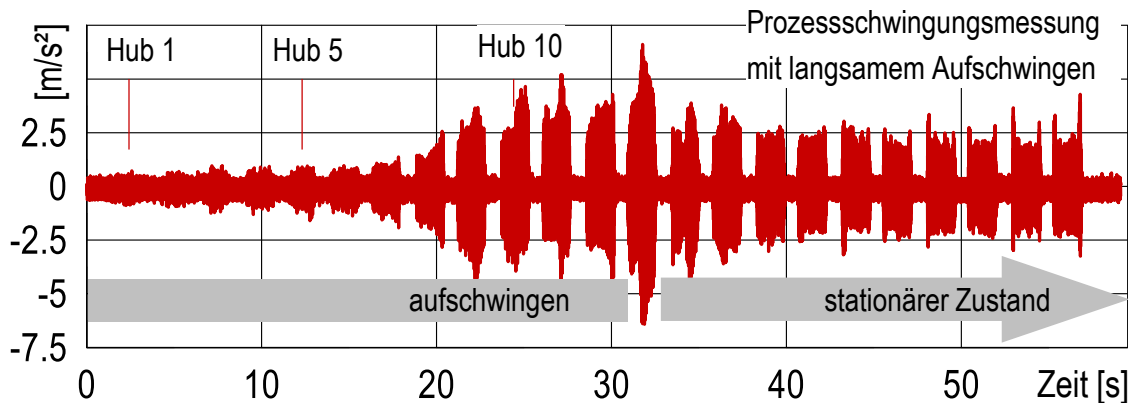


Beispiel Flachsleifmaschine (Pendelhub): Von Überschliff zu Überschliff baut sich die Welligkeit langsam auf

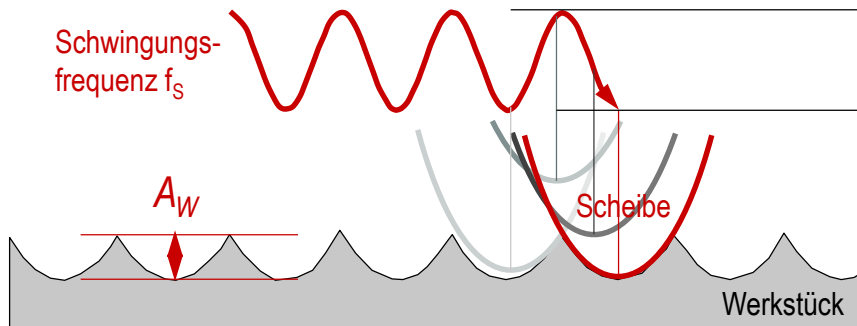
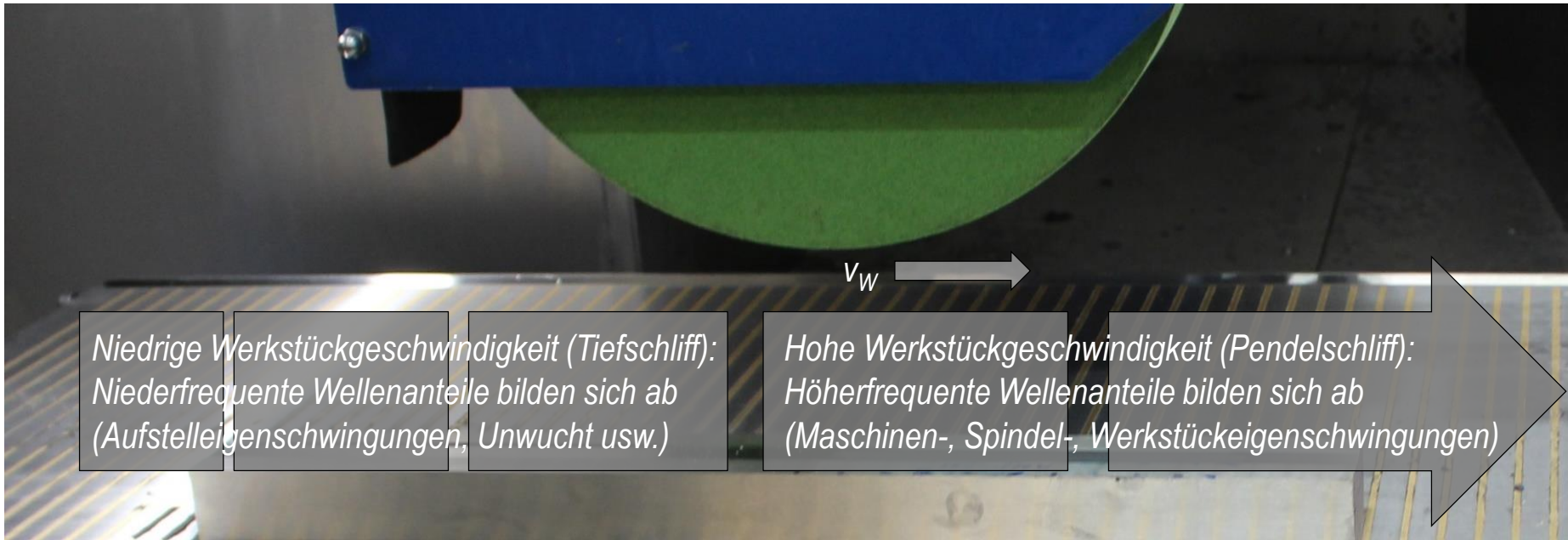


Welligkeitsaufbau

- Innerhalb von 13 Hübten schwingt sich der Prozess auf. Die Ratterfrequenz ist zu Beginn nicht konstant aber erreicht einen stationären Zustand.

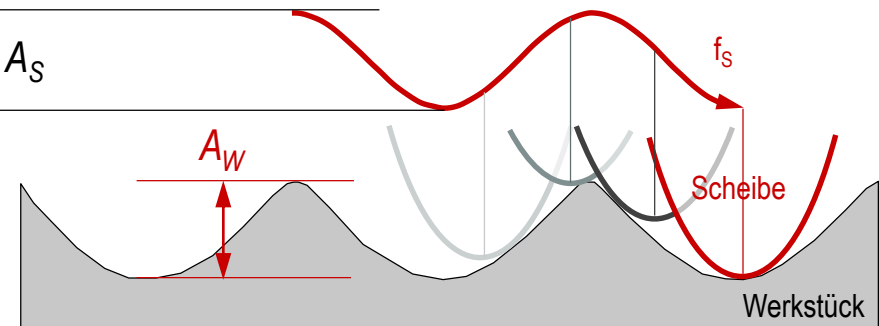


Abhängig von der Werkstückgeschwindigkeit können nieder- oder höherfrequente Schwingungsprobleme qualitätsbeeinflussend sein



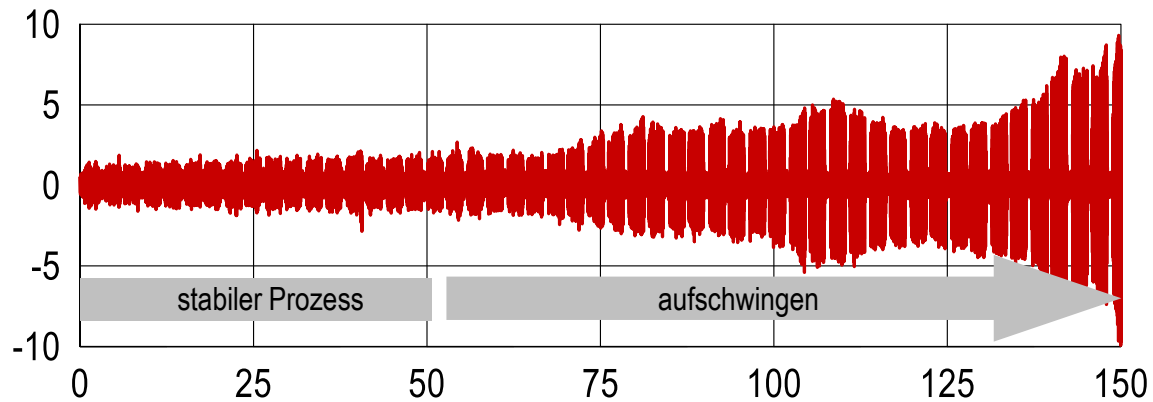
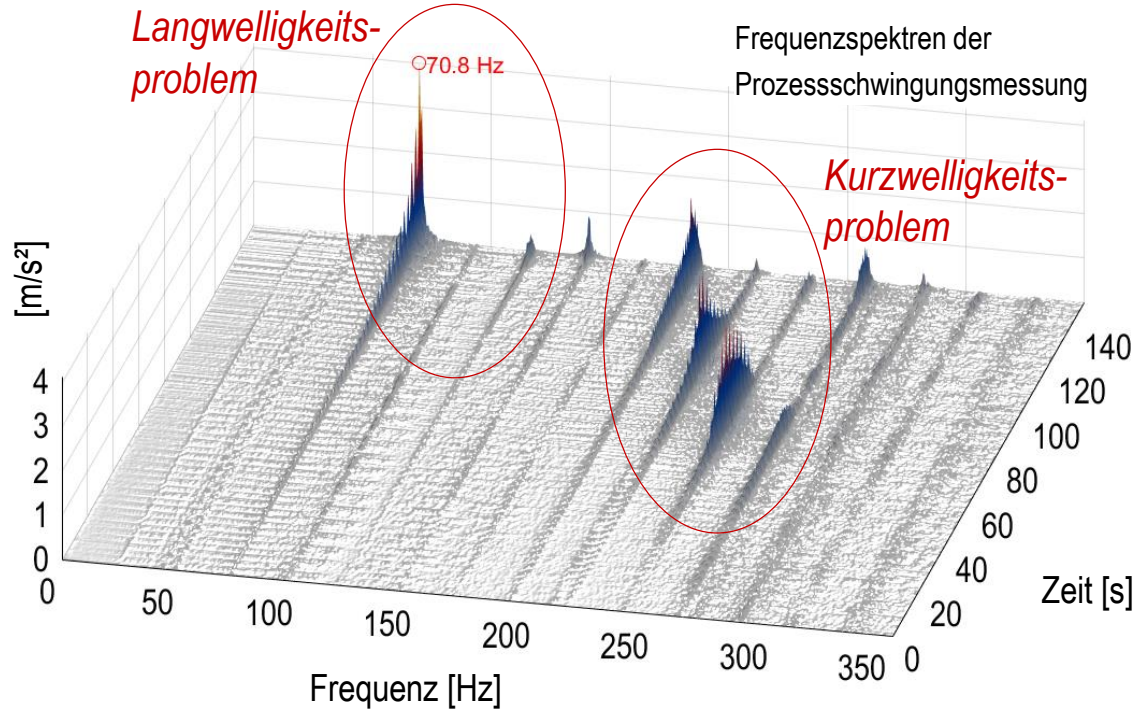
Fall 1: v_W niedrig / f_s hoch

A_S bildet sich nur anteilig als A_W auf dem Werkstück ab.



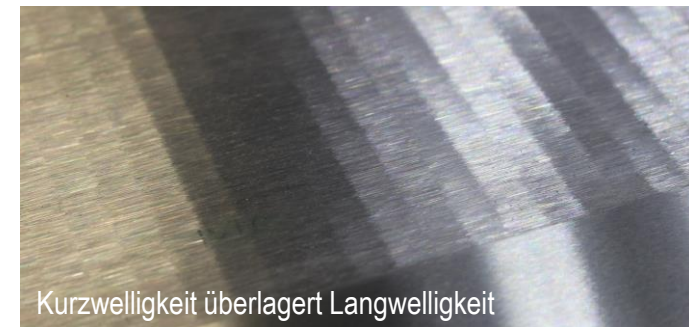
Fall 2: v_W hoch / f_s niedrig

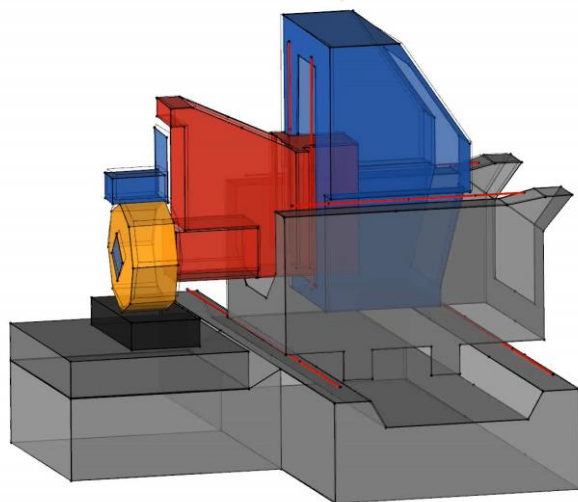
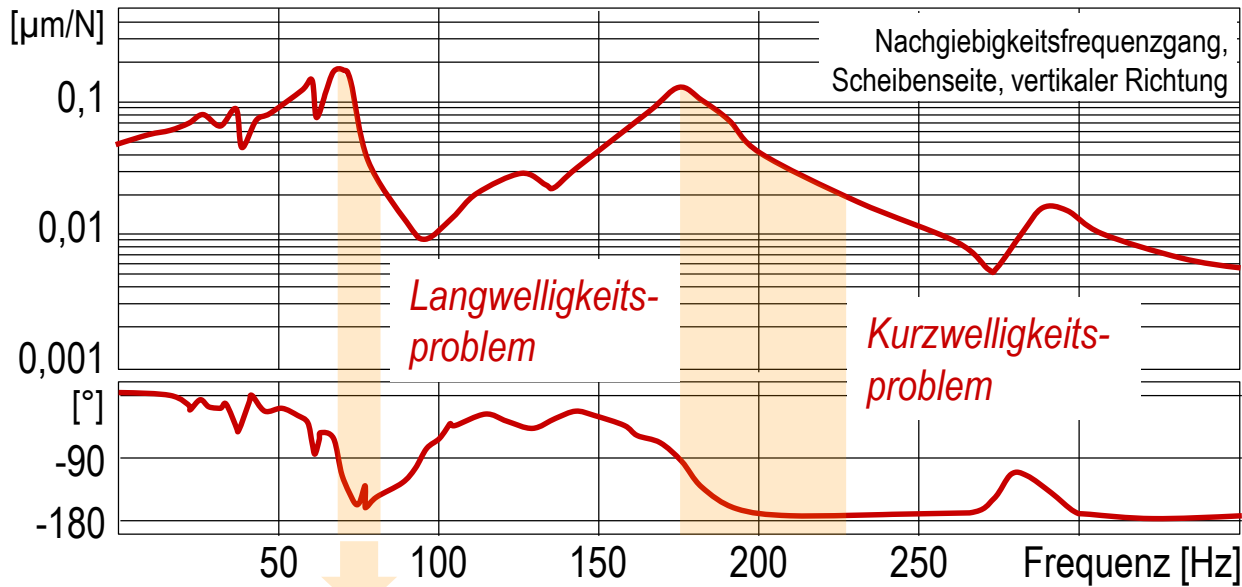
A_S bildet sich vollständig als A_W auf dem Werkstück ab.



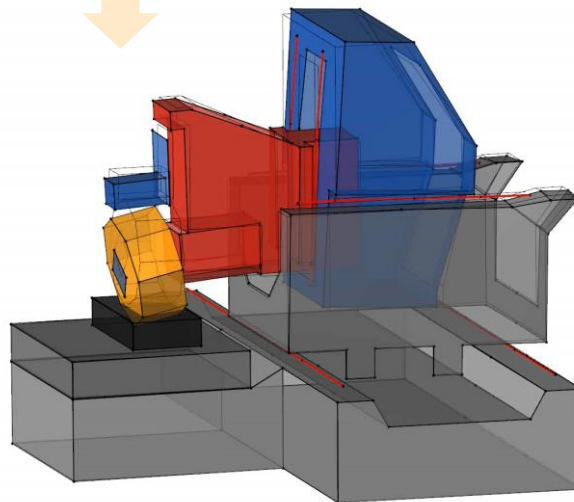
Welligkeitsaufbau

- Der Prozess schwingt sich zunächst mit einem höherfrequenten Anteil auf.
- Dazu bildet sich ein niederfrequenter Anteil, dessen Amplitude deutlich ansteigt.
- Die Kurzwelligkeit dominiert das Oberflächenbild (beste optische Sichtbarkeit).

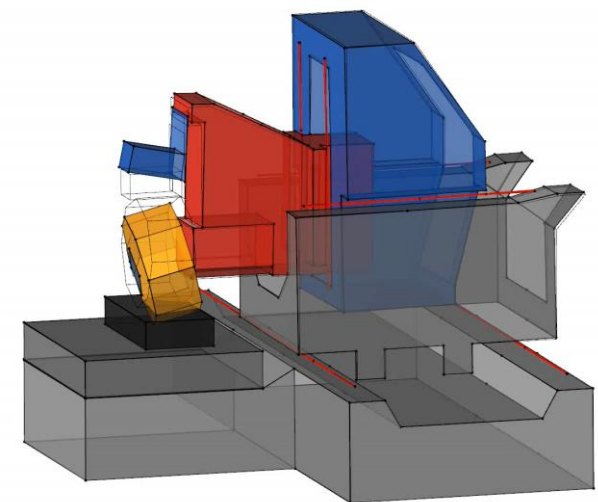




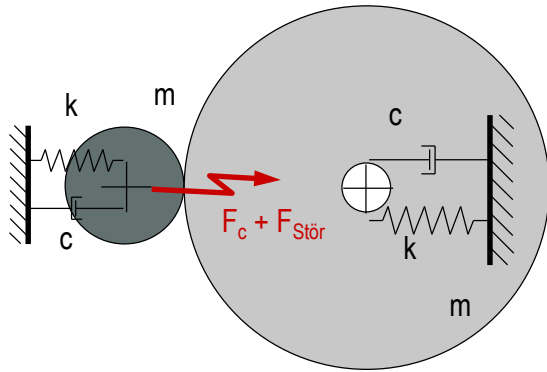
Schwingungsform 1: Nicken der Schleifeinheit



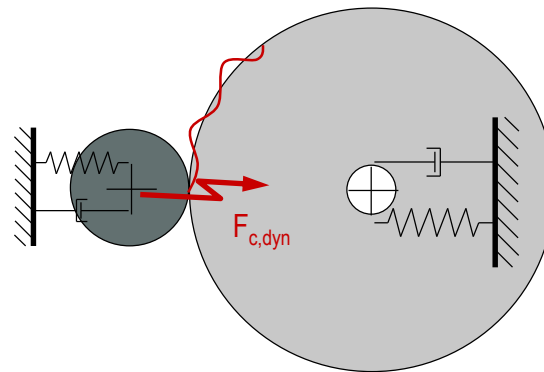
Schwingungsform 2: Biegung der Schleifspindel



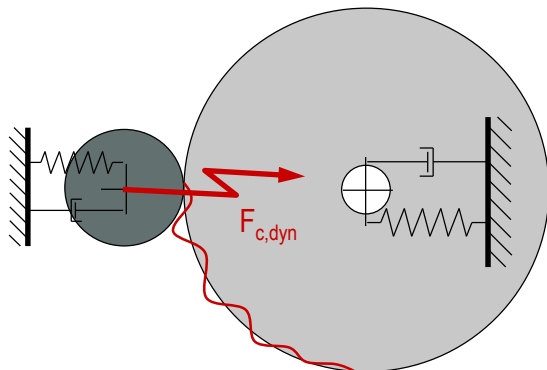
Schwingungsform 3: Abrichterschwingung



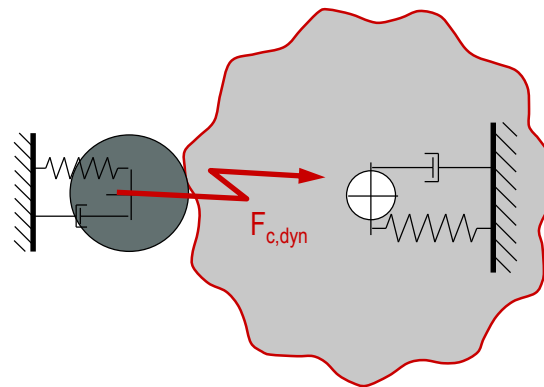
Zeitpunkt T_1



Zeitpunkt T_2



Zeitpunkt T_3

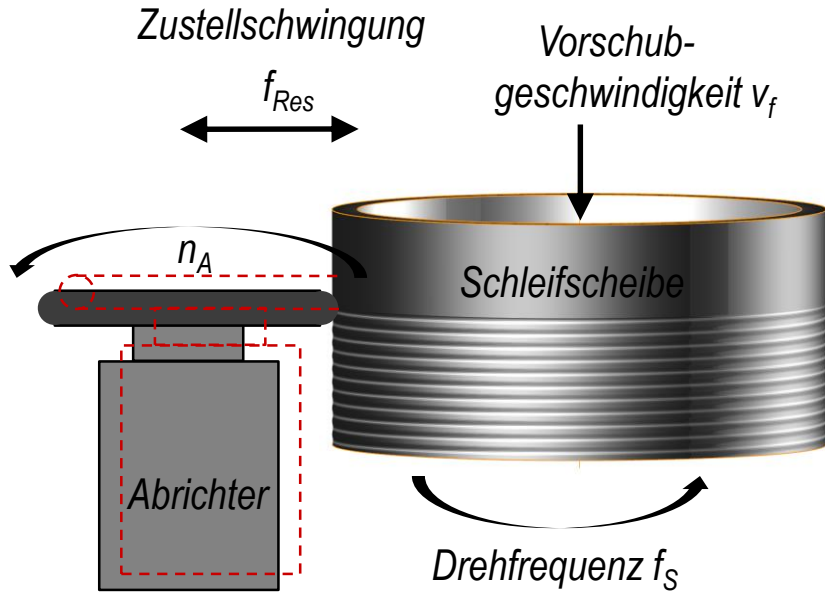


Zeitpunkt T_4

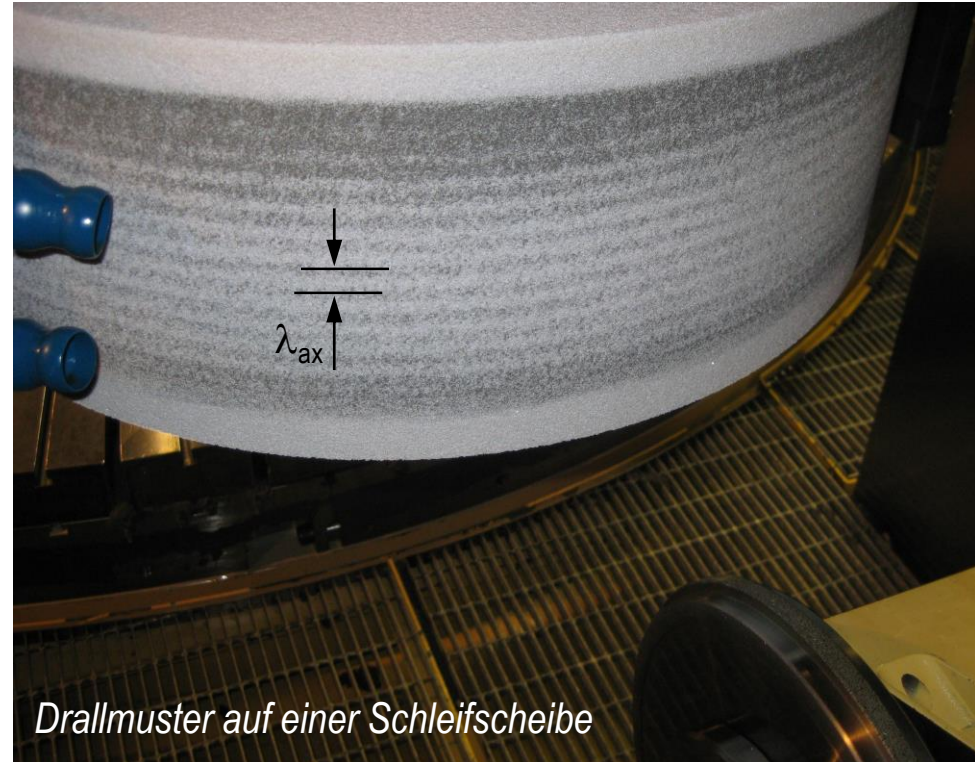
Der Mechanismus des Ratterns

- Das Rattern beim Abrichten ähnelt jenem des Schleifens.
- Liegt ein ganzzahliges Verhältnis zwischen Schwingungsfrequenz und Drehfrequenz der Scheibe vor, kann sich eine „stehende“ Welligkeit ausbilden.
- Weicht das Verhältnis von der ganzen Zahl ab, ist ein Aufschwingen dennoch möglich. Die Welligkeit „wandert“ in diesem Fall am Umfang der Scheibe entlang.
- Die polygonförmig abgerichtete Scheibe bildet sich anschließend auf dem Werkstück ab. Hatte der Abrichter einen Axialvorschub, können sich Schrägschlieren abbilden.

Bei der dynamischen Analyse von Schleifprozessen sollte immer auch der Abrichtprozess betrachtet werden.



Drallbildung: Wellenlänge $\lambda_{ax} = \frac{V_f}{|f_S - f_{Res}|}$



Drallmuster auf einer Schleifscheibe

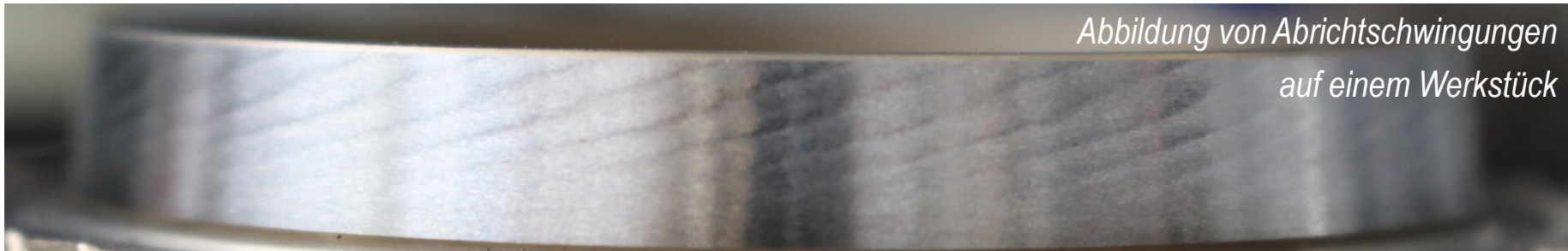
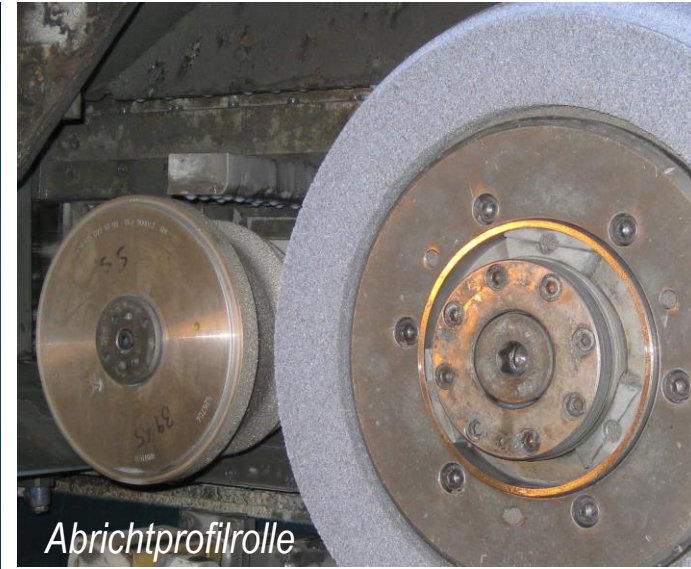


Abbildung von Abrichtschwingungen auf einem Werkstück



Charakteristik

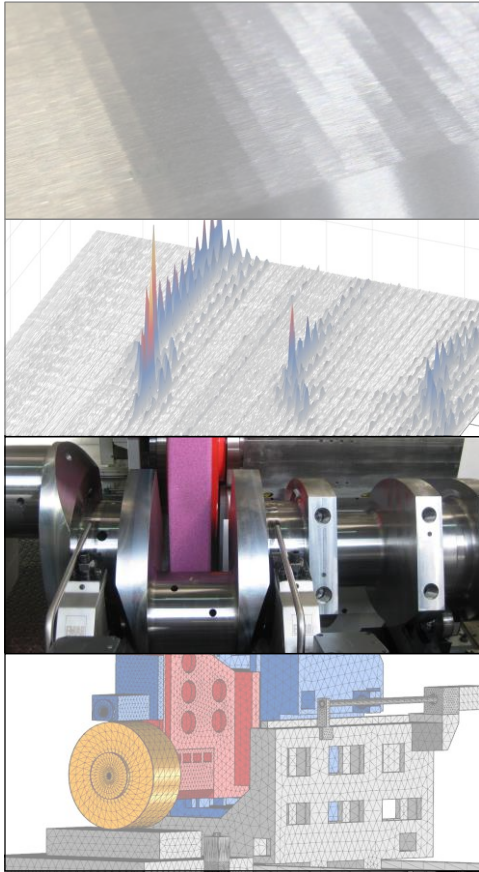
- Abrichter mit punktueller Kontaktzone und Quervorschubbewegung erzeugen i.A. Welligkeitsbilder mit Drallmuster. Der Drallwinkel an der Schleifscheibe ist drehzahlbedingt geringer als am Werkstück.
- Die Ratterschwingung tritt im Abrichtprozess auf. Im anschließenden Schleifprozess ist die Schwingung sofort messbar. Die Schwingungsfrequenz beim Schleifen ändert sich proportional zur Änderung der Schleifdrehfrequenz.

Charakteristik

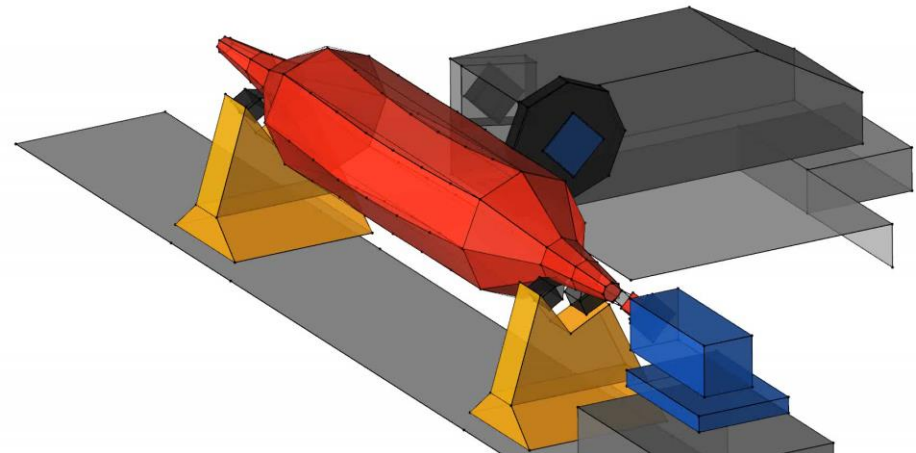
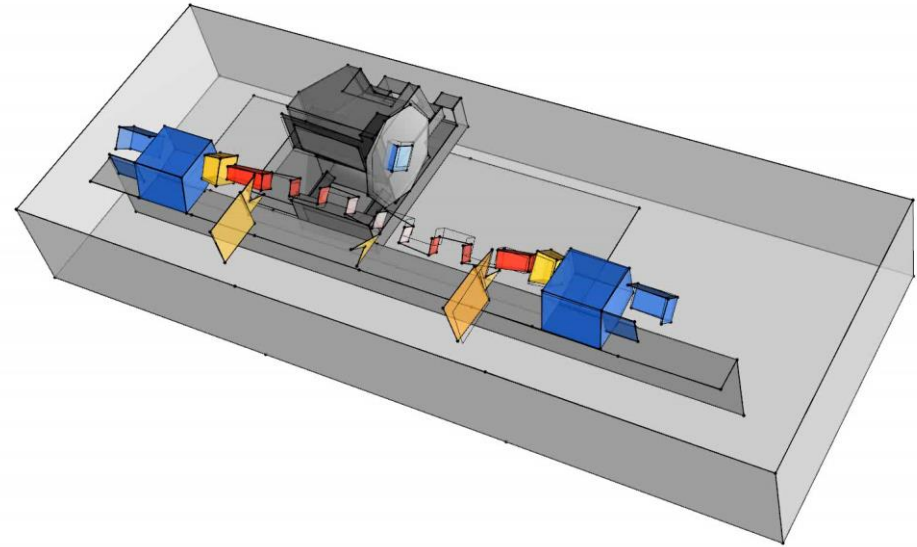
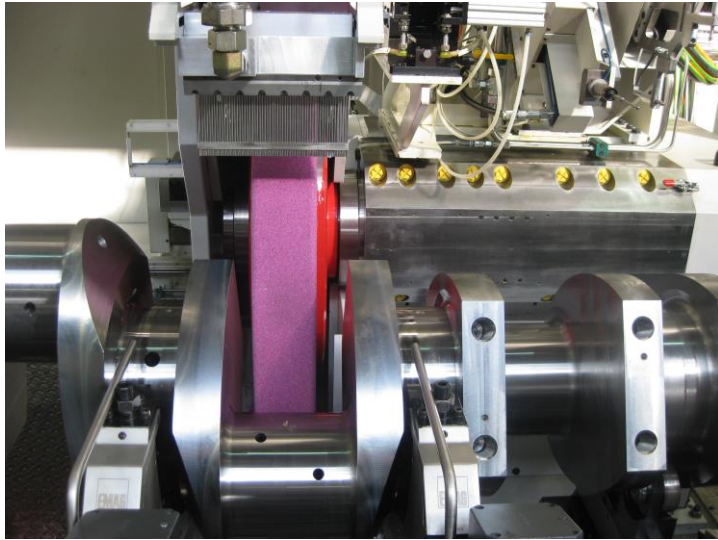
- Abrichter mit linienförmiger Kontaktzone und Zustellbewegung erzeugen Welligkeitsmuster mit **achsparallelem** Verlauf.

Ungünstige Faktoren (Flachschleifen)

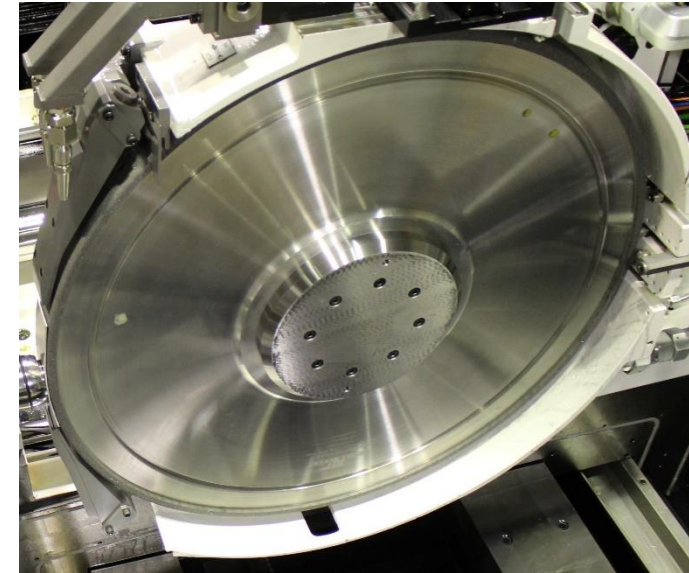
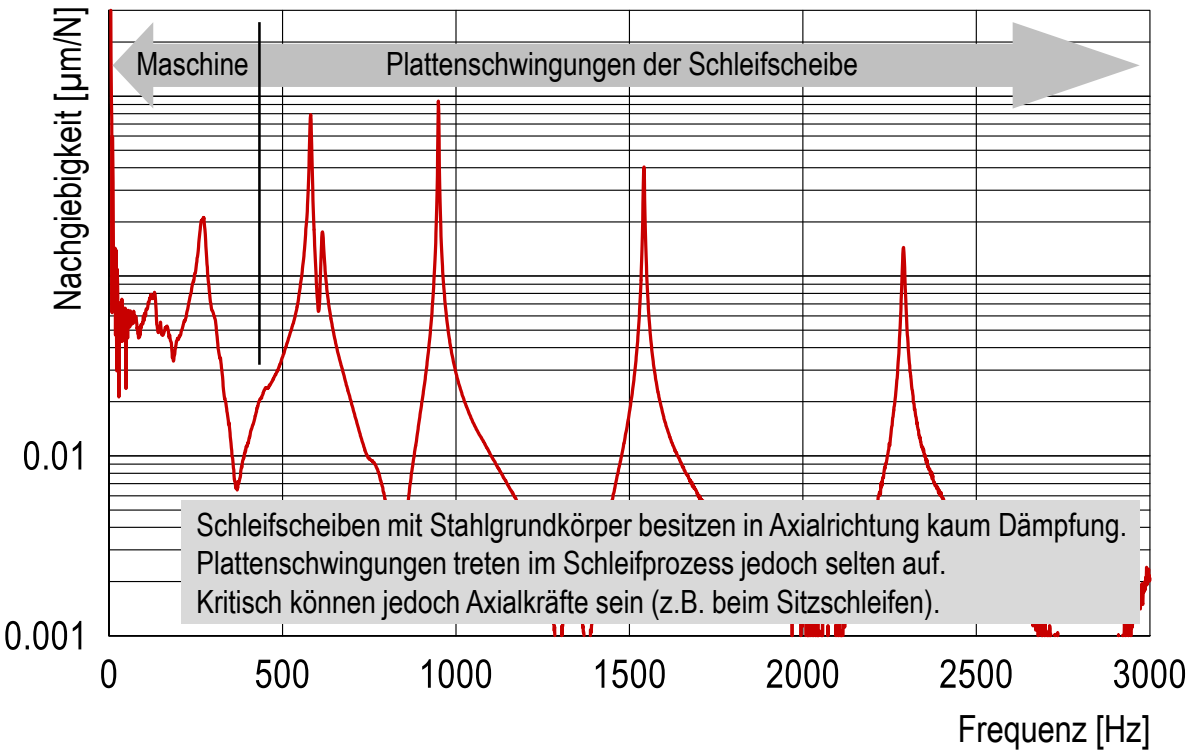
- Weit auskragende Abrichterstruktur (Biegebalken)
- Abrichter- oder Schleifspindel mit ausgeprägter Eigenfrequenz (fehlende Gegenlagerung)



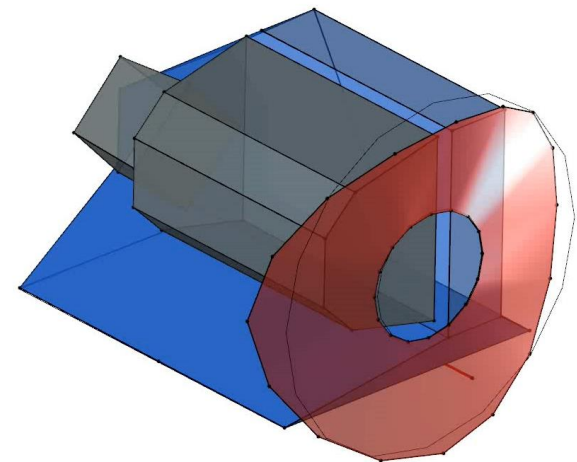
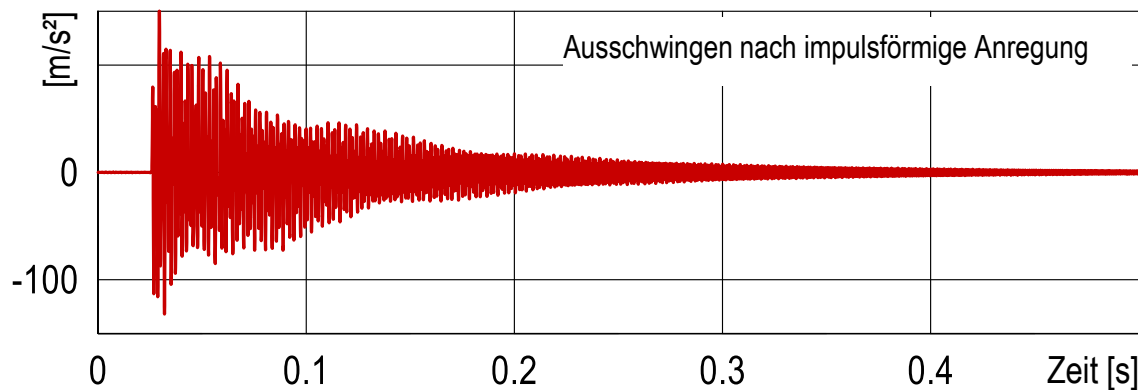
- Schwingungsarten & Ursachentrennung
- Problembeispiele & Qualitätsauswirkung
- Schwingungsrisiken spezieller Maschinentypen
- Dynamikoptimierung & Schwingungsvermeidung

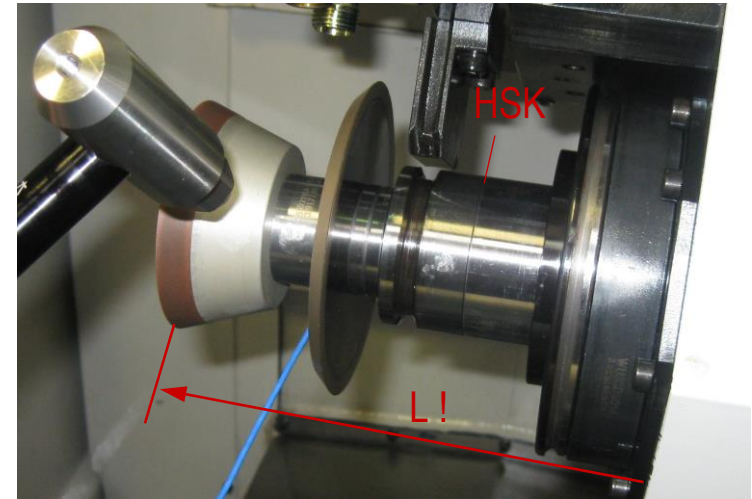
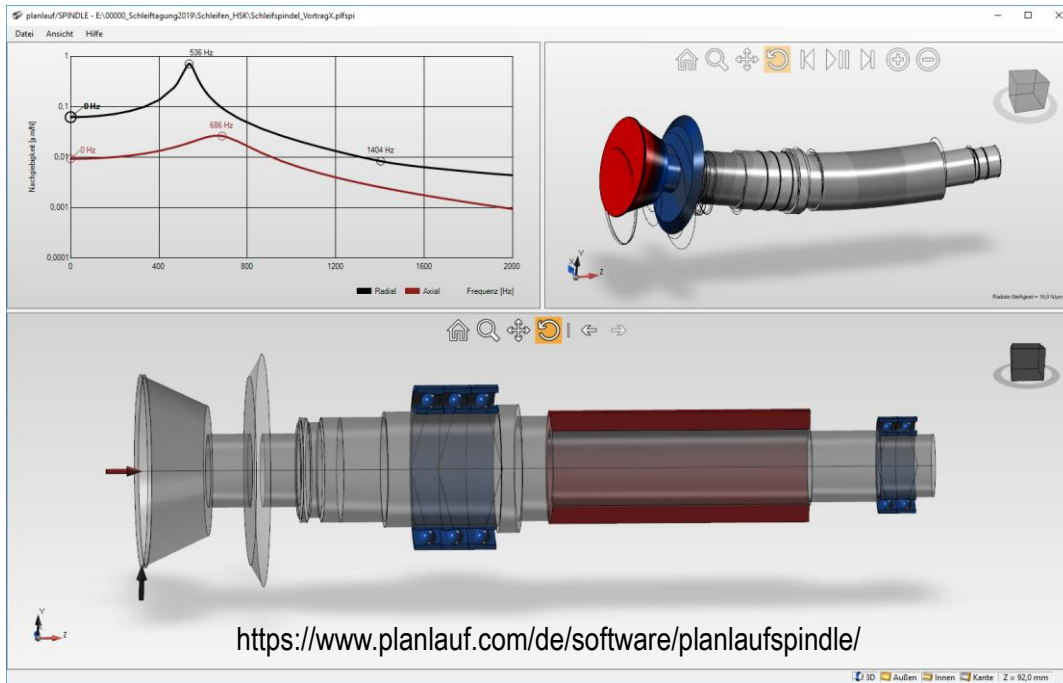


Walzen- und Kurbelwellenschleifmaschinen: Häufig begrenzen
Eigenschwingungen der Werkstücke die umsetzbare Maschinenleistung



CBN-Schleifscheibe mit Stahlgrundkörper
 $D = 750 \text{ mm}$, $B = 50 \text{ mm}$





Werkzeuge mit HSK-Schnittstelle

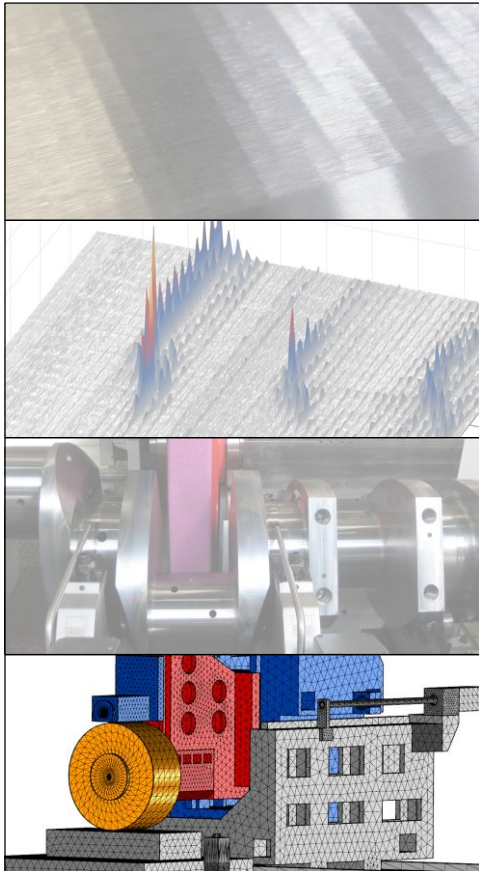
- Probleme durch Unwucht oder Aufbiegen an der HSK-Schnittstelle sind seltener.
- Stabilitätsbegrenzend ist häufig die **große Auskragung L** des Werkzeugs vor dem vorderen Spindellagerpaket.

Empfehlung:

- Rechnerische Überprüfung des dynamischen Eigenverhaltens von Schleifwerkzeug – Spindelkombinationen

planlauf/SPINDLE: Software zur Überprüfung der dynamischen Eigenschaften von Werkzeug-/Spindelkombinationen

- Intuitiver und schneller Modellaufbau
- Datenbank mit mehr als 6.000 Lagern (FAG, GMN, NSK, SKF, SNFA, IBC, TIMKEN, SLF)
- Berechnung von statischen Steifigkeiten, Eigenfrequenzen, Schwingungsformen und Nachgiebigkeitsfrequenzgängen
- Automatische Erstellung eines PDF-Berichts

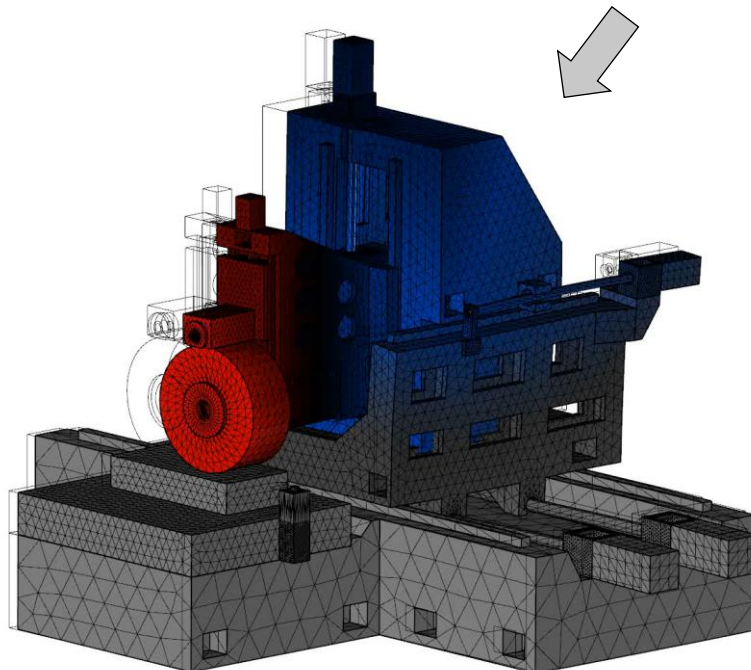
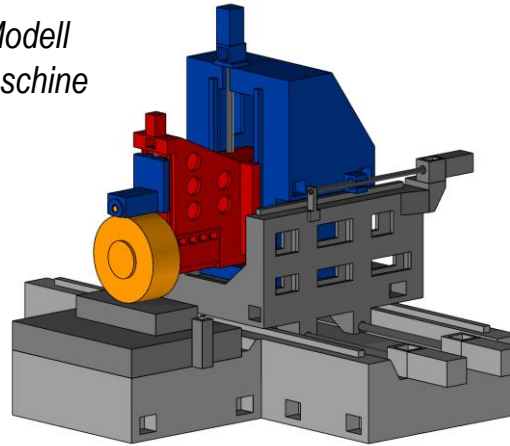


- Schwingungsarten & Ursachentrennung
- Problembeispiele & Qualitätsauswirkung
- Schwingungsrisiken spezieller Maschinentypen
- Dynamikoptimierung & Schwingungsvermeidung

Berücksichtigung von:

- Strukturkomponenten
- Spindeln / Werkzeugen
- Führungsbahnen / Lagerungen
- Aufstellung / Fundamentierung
- Antrieben / Regelung

*CAD-Modell
der Maschine*



*Flexibles Mehrkörpermodell
der Maschine*

Umfang:

- Statische Steifigkeiten
- Nachgiebigkeitsfrequenzgänge
- Modalanalyse / Eigenschwingungen
- Aufstellungs- / Fundamenteinfluss
- Wandstärkenoptimierung
- Auslegung von Hilfsmassendämpfern

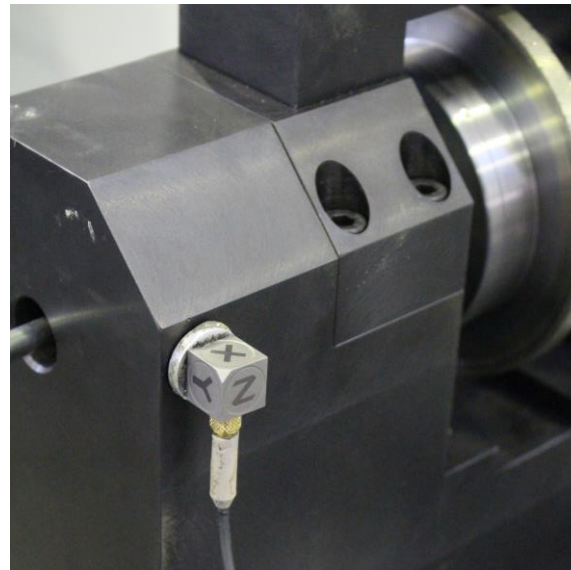
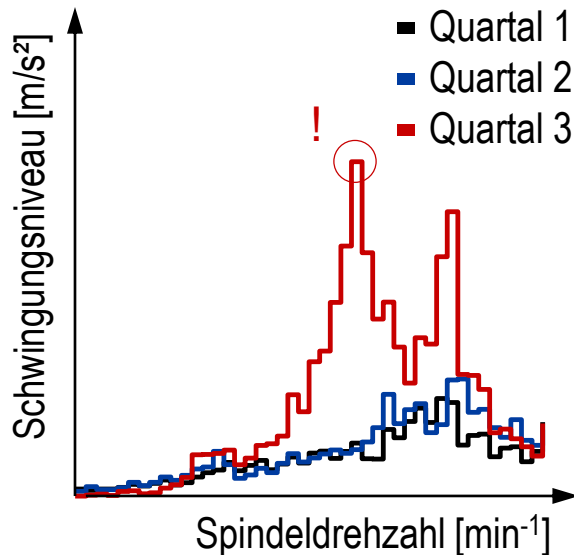
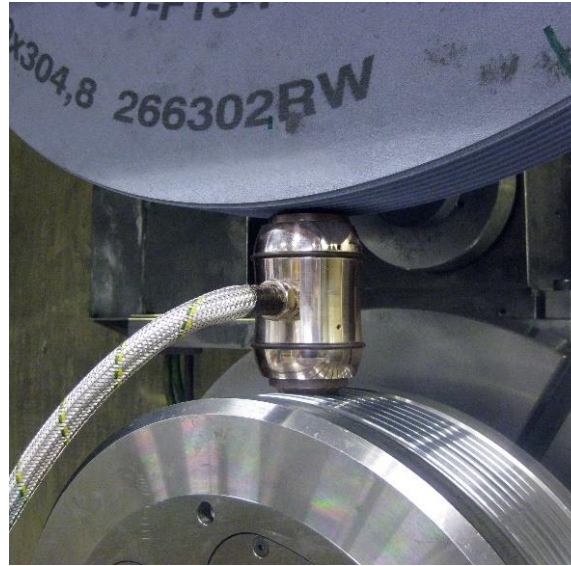
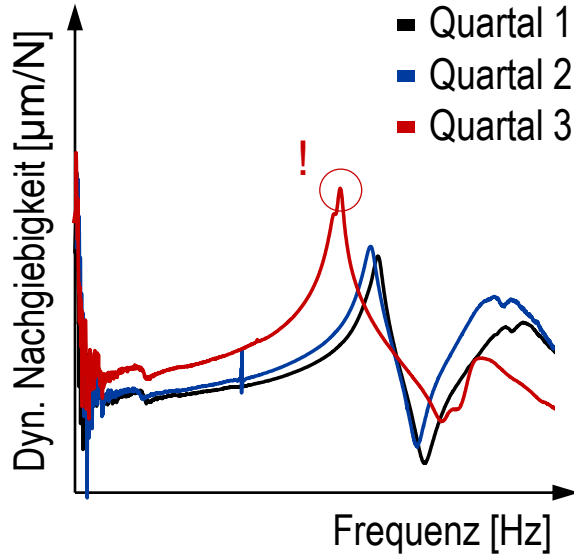
Benefit:

- Vergleichsmöglichkeit von Achskonzepten in der Planungsphase
- Frühzeitige Erkennung von Risiken in der Konstruktionsphase
- Prognostizierung der Wirkung von Verbesserungsmaßnahmen bei erkannten Schwachstellen

Keine Aufgabe von Monaten:
Zeitaufwand für die Berechnung einer
Gesamtmaschine inkl. Varianten:

ca. 5 Tage

Dynamischer Fingerprint (Kurzanalyse): Prognose von Schwingungsrisiken und -problemen



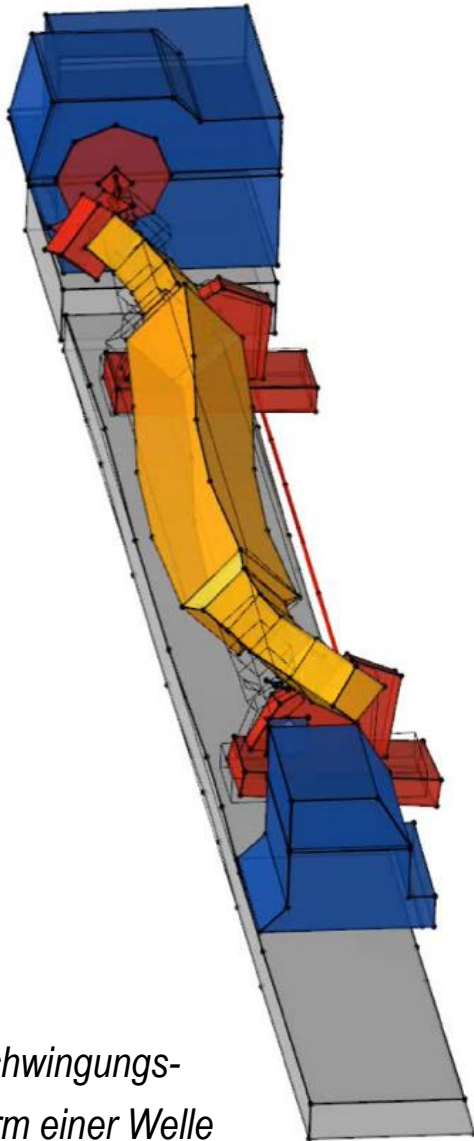
Umfang:

- Quartals- / halbjährliche Kurzmessung der Maschine mit definierten Randbedingungen, z.B.:
- Nachgiebigkeitsfrequenzgänge
- Schwingungsmessung beim Achsverfahren und Spindelhochlauf
- Statistische Dokumentation des Maschinensteifigkeitsverhaltens

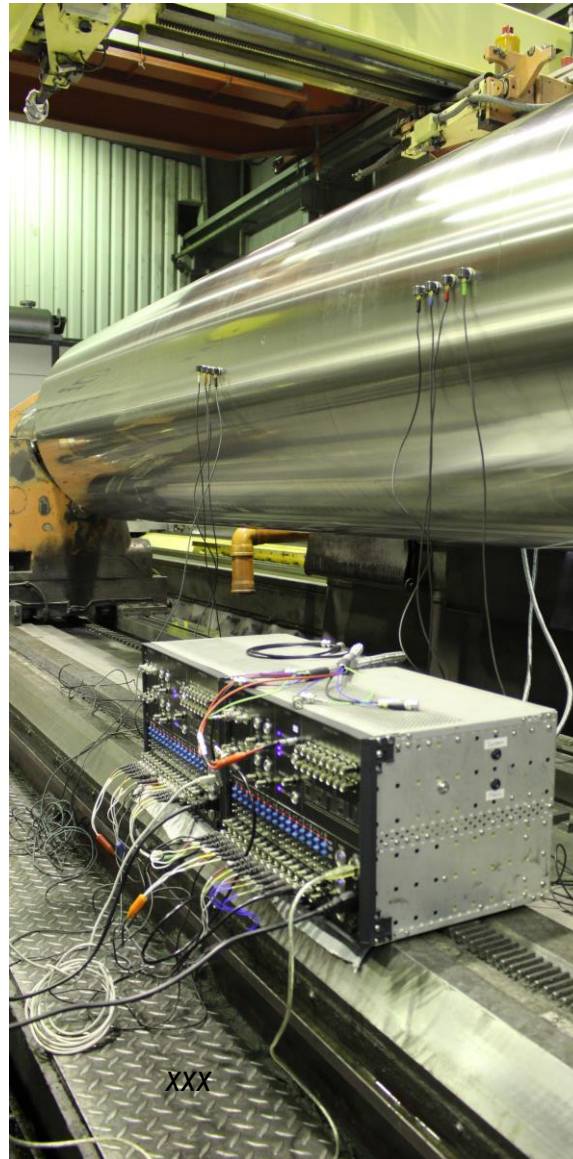
Benefit:

- Erkennung von Schwachstellen bei der Maschinenabnahme
- Einschätzung von Risiken bei Werkzeug- oder Spannmitteländerungen
- Überwachung drehender Komponenten (Spindeln, KGTs, Führungen) hinsichtlich Verschleiß und Vorspannungsverlust

Zeitaufwand: ca. 0,5 – 1 Tag



Schwingungsform einer Welle



Umfang:

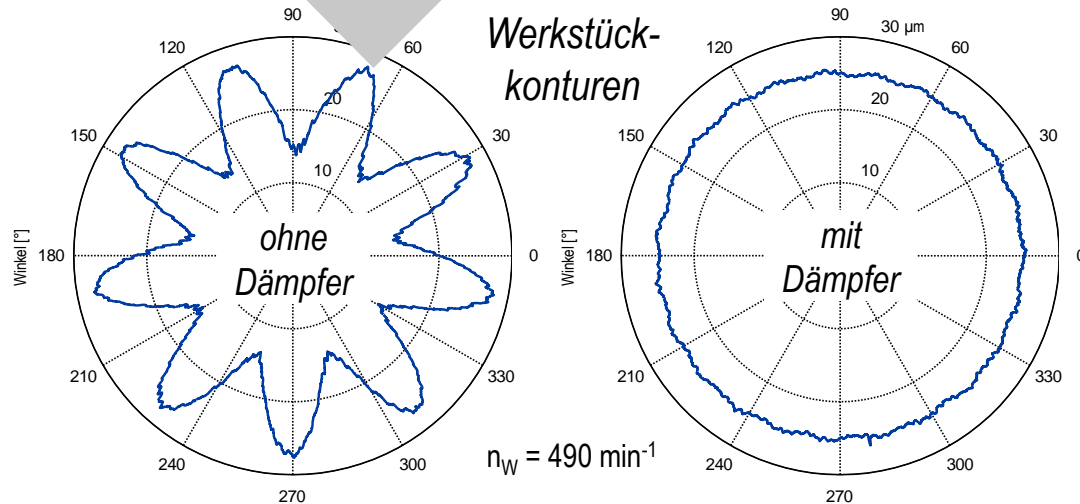
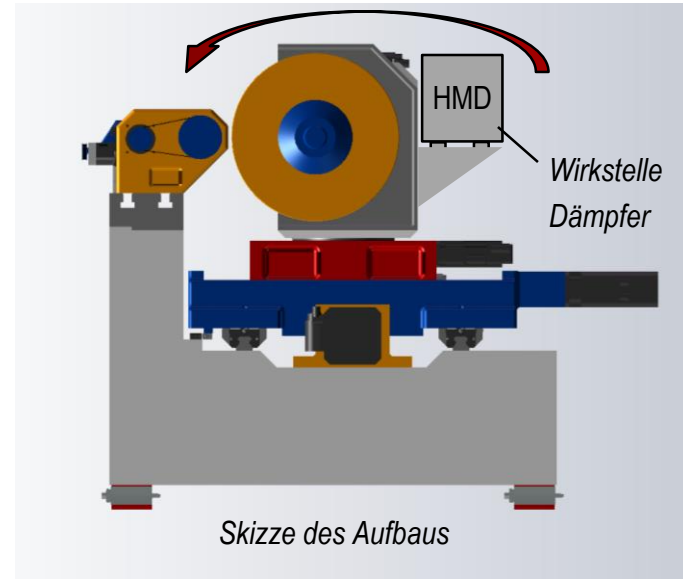
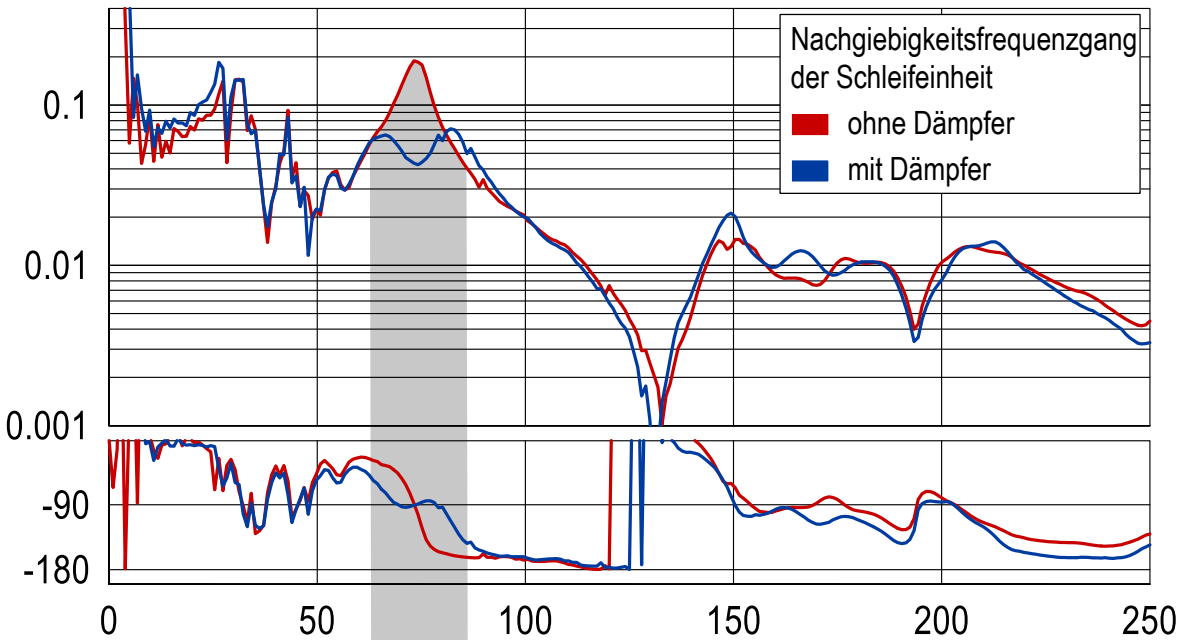
- Detaillierte messtechnische Maschinenuntersuchung optional mit...
- Prozessschwingungsmessungen
- Verlagerungsmessungen
- Spindelhochlaufmessungen
- Statischen & dynamischen Nachgiebigkeitsmessungen
- Zerspankraftmessungen
- Modal- / Betriebsschwingungsanalyse

Benefit:

- Bewertung von Prototypen und Vergleich innerhalb einer Baureihe
- Abgleich von FE-Berechnungen bzgl. Steifigkeits- und Dämpfungsniveau
- Ursachenanalyse von Ratterproblemen als Basis zur Optimierung der Fertigungsqualität

Zeitaufwand: ca. 2 – 3 Tage

Auslegung von Hilfsmassendämpfern zur Reduzierung einzelner Nachgiebigkeitsspitzen (Beispiel)



Im Schleifprozess tritt eine Kippschwingung der Schleifeinheit in Zustellrichtung auf. Mit einem Hilfsmassendämpfer kann die verantwortliche Nachgiebigkeitsstelle gezielt reduziert werden. Der Schleifprozess läuft anschließend stabil.

Ankündigung Tagesseminar: **Schwingungen an Produktionsmaschinen**

Grundlagen, Ursachen und Gegenmaßnahmen

Programm

Einführung in die Grundlagen der Schwingungsanalyse

FFT, Frequenzgänge, Modal- und Betriebsschwingungsanalyse

Vorführung der messtechnischen Vorgehensweise

Schwingungs- und Frequenzgangmessungen

Systematik zur Ermittlung von Schwingungsursachen

Fremd- / selbsterregte Schwingungen, Praxisbeispiele

Maßnahmen zur Behebung von Schwingungsproblemen

Konstruktive Lösungen, Hilfsmassendämpfer, Praxisbeispiele

Termine

18. März 2019

Düsseldorf

Mercure Hotel Düsseldorf Seestern

19. März 2019

Stuttgart

Mercure Hotel Stuttgart City Center

20. März 2019

München

Leonardo Hotel Munich City East

21. März 2019

Frankfurt

Mercure Hotel Frankfurt Airport Neu-Isenburg

Anmeldungen

Sichern Sie sich Ihren Teilnehmerplatz - wir freuen uns auf Sie!

planlauf GmbH, Steinbachstraße 25, 52074 Aachen, www.planlauf.com

Telefon: +49 (241) 568 2768-0

Fax: +49 (241) 568 2768-98

E-Mail: schwingungsseminar@planlauf.com

