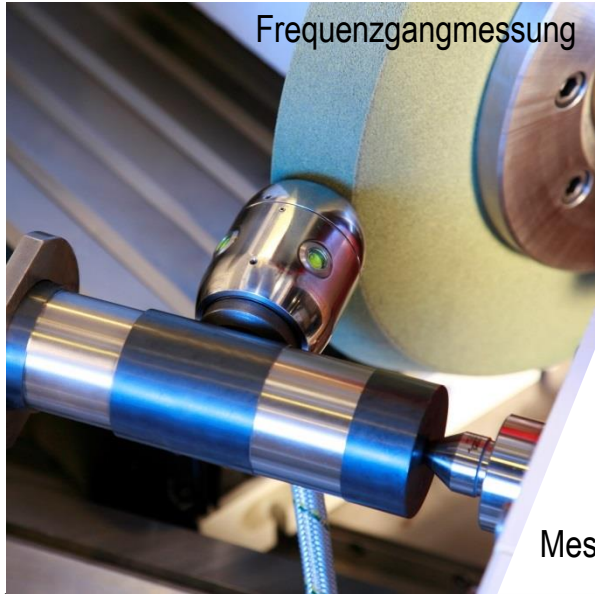


Optimierte Stabilität von Hochleistungs-Präzisionsschleifmaschinen

planlauf GmbH, Aachen

Kreuztal, 03. März 2015

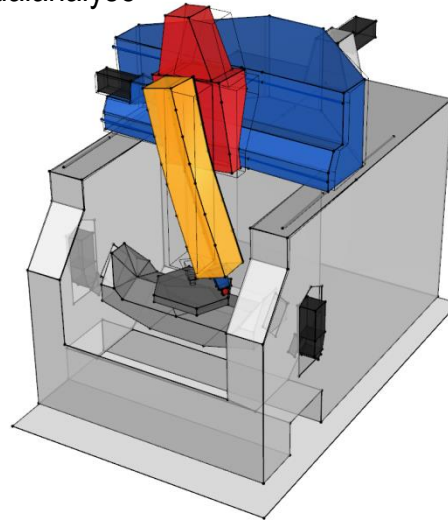
Dr.-Ing. Severin Hannig



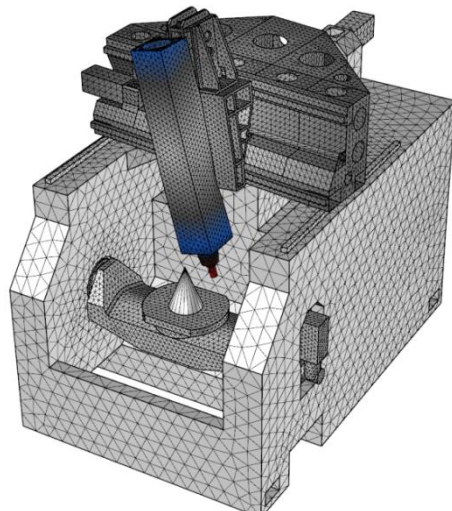
Frequenzgangmessung

Messung

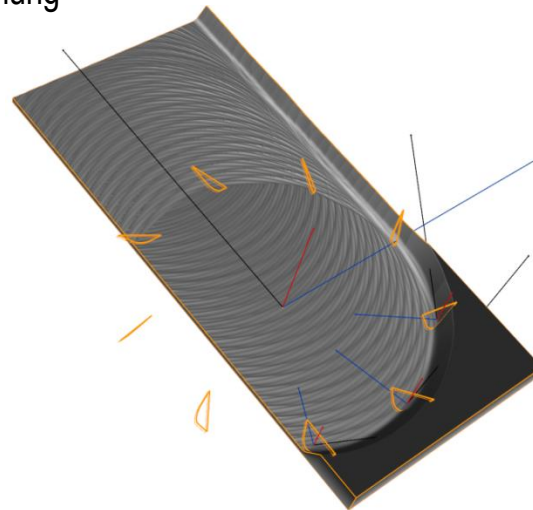
Modalanalyse



Berechnung



Maschinensimulation



Zerspansimulation

Produkte und Dienstleistungen:

Messung

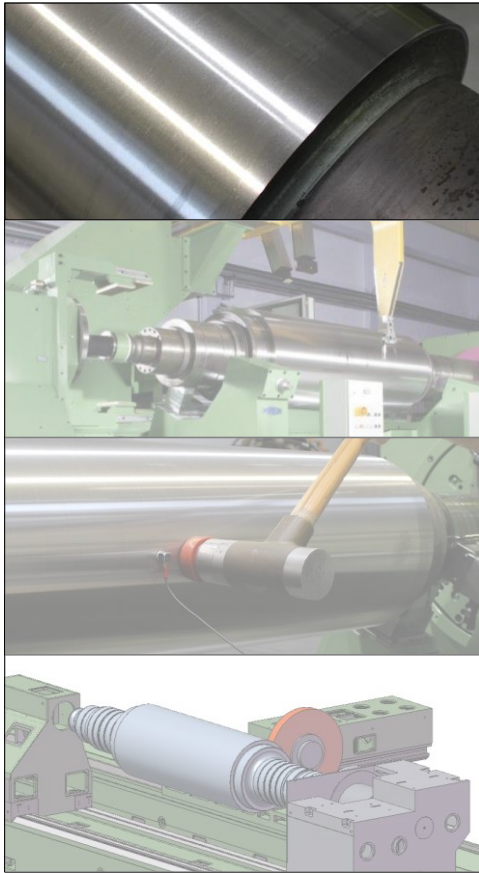
- Verlagerungen / Zerspankräfte
- Schwingungen / Steifigkeiten
- Modalanalyse / Frequenzgänge
- Geometrie / dyn. Spindelrundlauf
- Boden- / Fundamentanalysen
- Langzeitüberwachung von Maschinen

Berechnung

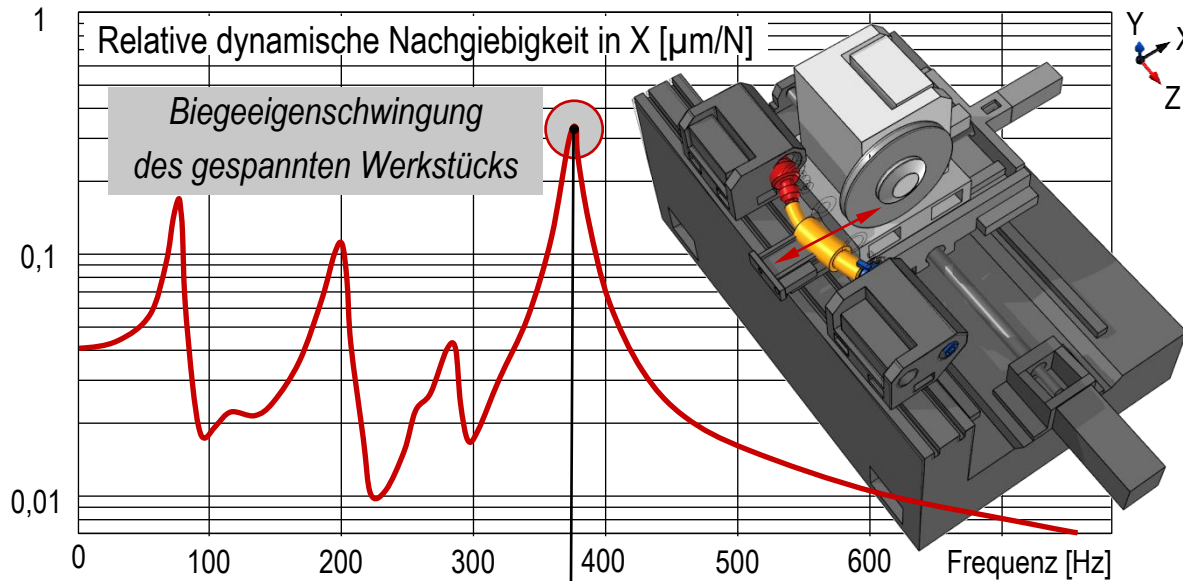
- Berechnung der Strukturmechanik
- Mechatroniksimulation
- Zerspansimulation
- Fundamentanalyse
- Werkzeugberechnung

Entwicklung

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

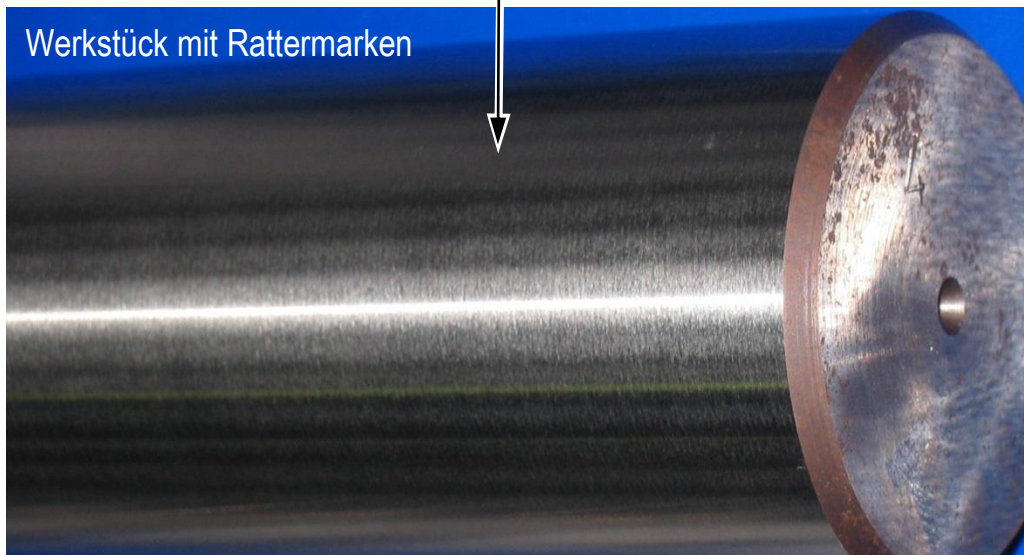


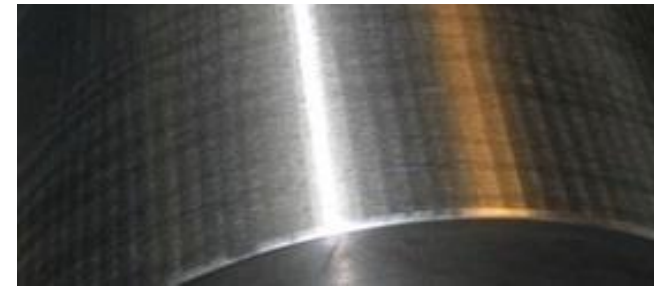
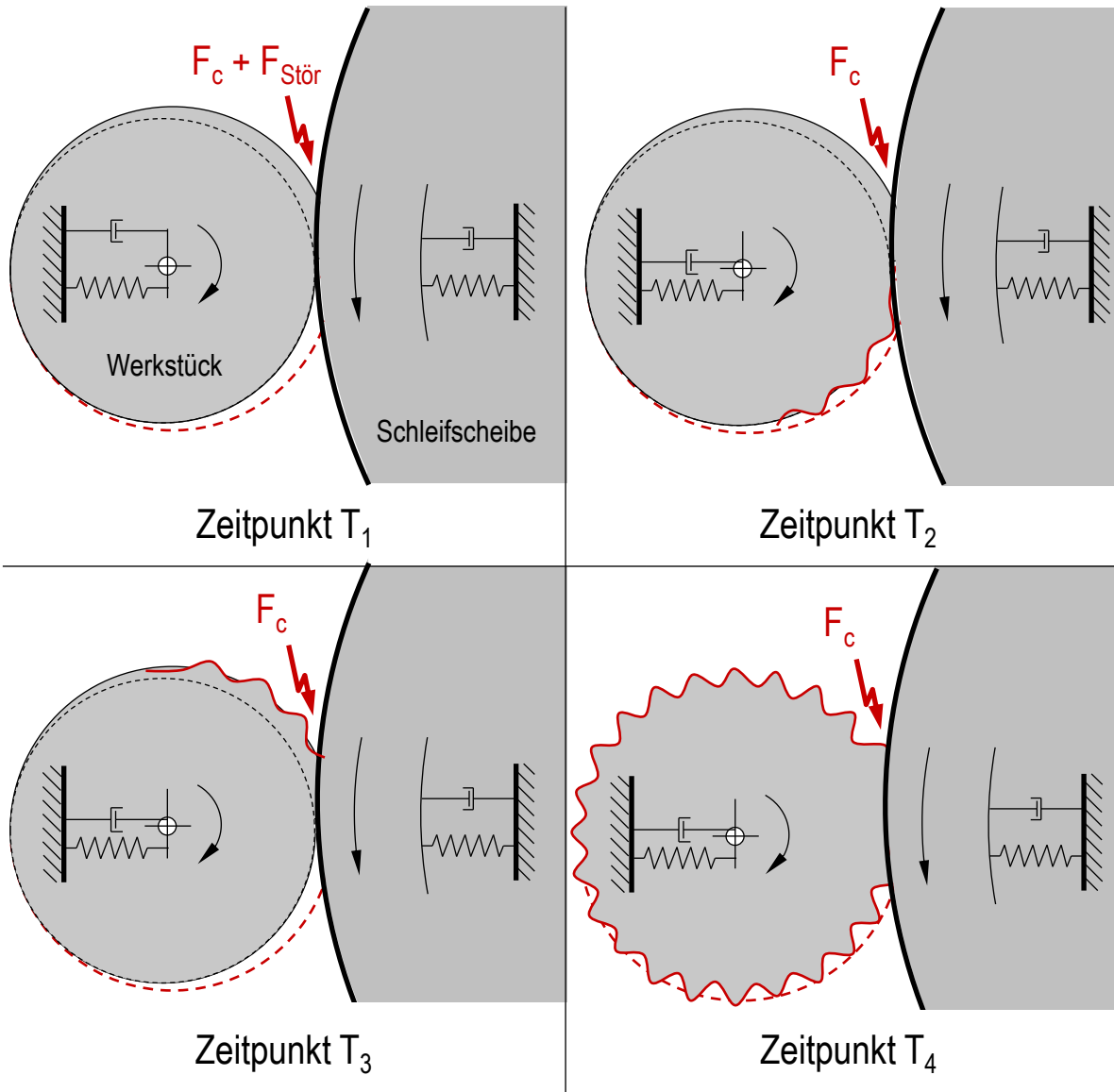
- Prozessstabilität statt Schwingungen beim Präzisionsschleifen
- Herausforderungen für die Schleifmaschinenkonstruktion
- Methoden zur Schwachstellenerkennung und -vermeidung
- Maßnahmen zur Stabilitätsoptimierung beim Walzenschleifen
- Zusammenfassung



Charakteristik des Ratterns am allgemeinen Beispiel einer Außenrund-Schleifmaschine

- Selbstverstärkende Schwingung
- Ursache ist eine Resonanzstelle der Maschine/Werkstück/Spannvorrichtung
- Schwingungsfrequenz ist ohne Drehzahlproportionalität von Massen- / Steifigkeitseigenschaften abhängig
- Auftreten leicht oberhalb einer dominanten Resonanz der Maschine
- Bei kurzen Wellenlängen z.T. als Facetten sichtbar, bei größeren Wellenlängen oft nur messbar





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 : Nach einer Werkstückumdrehung führt die Welligkeit im Schleifspalt zu einer Schleifkraftänderung.
- T_4 : Die Schleifkraftschwankung führt zur erneuten, verstärkten Auslenkung und zur Welligkeitsverstärkung.

Hinweis:

- Ein ähnlicher Ablauf ist auf der Scheibenseite beim Schleifen und beim Abrichten möglich!

Schwingungsprobleme sind komplex und vielfältig – aber lassen sich nach Herkunftsort klassifizieren

Abrichteinheit:

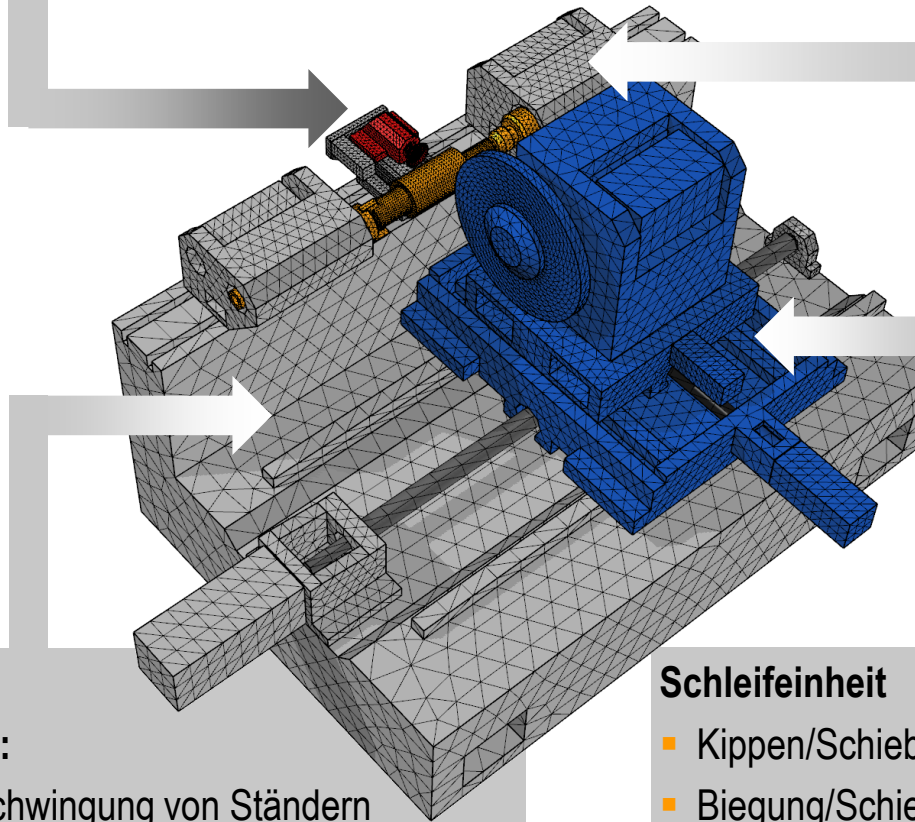
- Kippen/Schieben der Abrichtschlitten/Gehäuse
- Biegung/Schieben/Torsion der Abrichtspindel
- Eigenverformung des Abrichtwerkzeugs

Werkstückeinheit

- Kippen/Schieben von Schlitten/Gehäuse/Spindelstock
- Biegung/Schieben/Torsion von Spindel/Spannfutter/Werkstück
- Eigenverformung des Werkstücks

Sonstige Ursachen:

- Unwuchtanregung
- Geom. Rundlaufabweichung
- Steigungsfehler der KGT
- Lagerschäden
- Riemenschwingungen
- Pumpenpulsationen
- ...



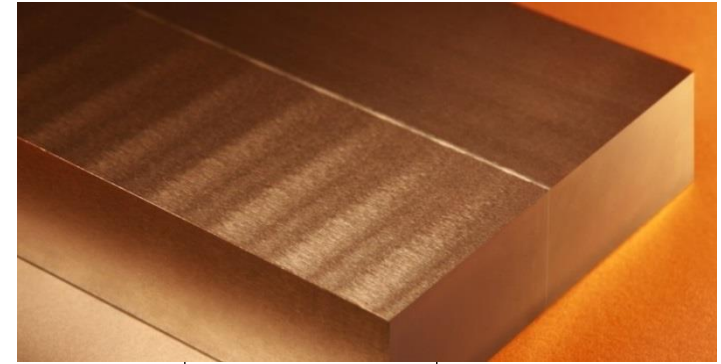
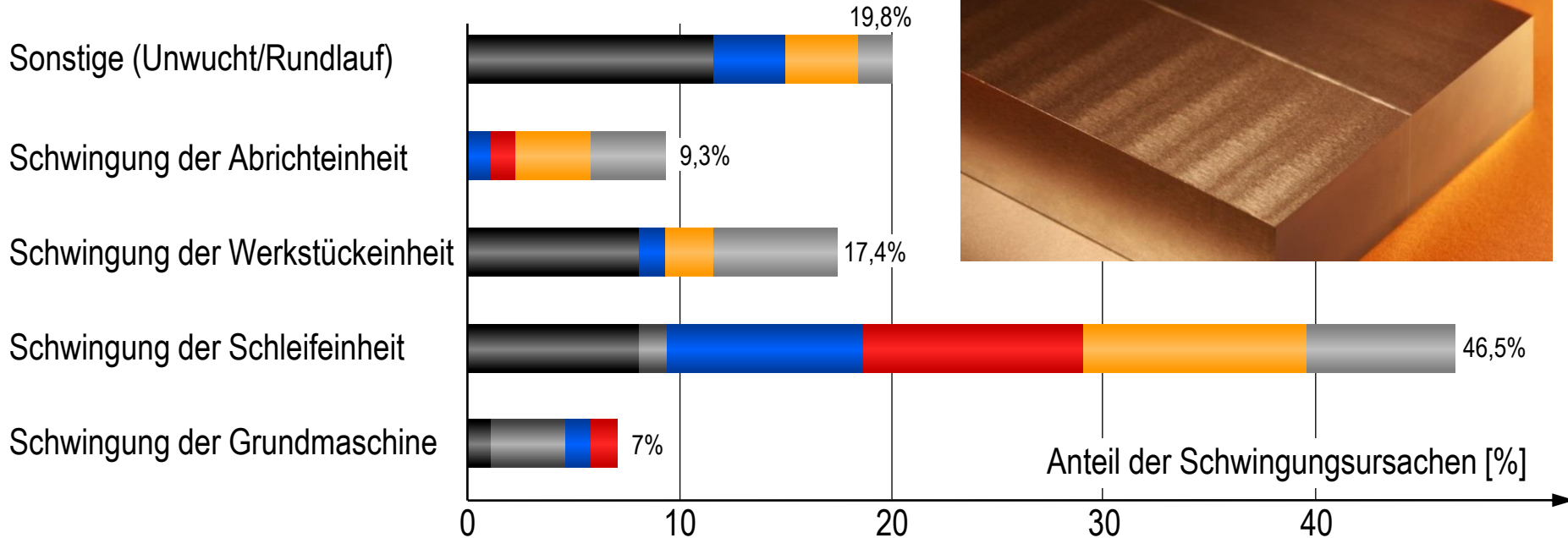
Grundmaschine:

- Kipp-/Pendelschwingung von Ständern
- Aufstellschwingung des Maschinenbetts

Schleifeinheit

- Kippen/Schieben von Schlitten/Gehäuse/Spindelstock
- Biegung/Schieben/Torsion von Spindel/Flansch/Scheibe
- Plattenschwingung von Scheibe/Werkzeug

Prozentuale Verteilung der Ratterursachen:



Statistik: Messtechnische Problemanalysen an **62 Schleifmaschinen** unterschiedlicher Größe und Typ:

- 16 Außenrundscheifmaschinen (zwischen Spitzen)
- 4 Innenrundscheifmaschinen
- 11 Portal- oder Ständerscheifmaschinen (große Bauformen)
- 9 Flach- oder Profilscheifmaschinen (ein- und doppelspindlig)
- 12 Spitzenlosscheifmaschinen
- 10 Sonstige Scheifmaschinen (Verzahnung- / Messer- etc.)

Hinweis:

- Schwingungsprobleme mit mehreren Ursachen wurden auch mehreren Bereichen zugeordnet.



- Prozessstabilität statt Schwingungen beim Präzisionsschleifen
- Herausforderungen für die Schleifmaschinenkonstruktion
- Methoden zur Schwachstellenerkennung und -vermeidung
- Maßnahmen zur Stabilitätsoptimierung beim Walzenschleifen
- Zusammenfassung

Die Maschinenentwicklung muss zwei wesentliche Anforderungen erfüllen:

- ➔ Hohe dynamische Stabilität beim Leistungs-Schruppschleifen
- ➔ Hohe Schleifpräzision und Rundheitsgenerierung beim Feinschlichten



Besondere Herausforderungen des Walzenschleifens:

- Schwere, weit auskragende Werkstücke
Risiko ▶ Walzenbiegeschwingungen
- Schwere Schleifscheiben mit großen Schleifbreiten
Risiko ▶ Spindelschwingungen
- Hohe Schleifkräfte durch große Schleifbreiten
Risiko ▶ Gesamtmaschinenschwing.
- Große Messwege bei der Überprüfung des Messergebnisses
Risiko ▶ Messarmschwingungen

Wichtige, gewünschte Eigenschaften einer Walzenschleifmaschine:

Führungssysteme (z.B. Hydrostatik) mit dämpfenden Eigenschaften bei hoher Steifigkeit vermeiden Kippschwingungen der Schlitten.

Spindel-Lagersysteme (z.B. Hydrostatik) mit hoher Laufruhe bei ausreichender Dämpfung vermeiden Spindeleigenschwingungen.

Scheibenflansch und Scheibe mit steifer Anbindung zur Spindel vermeiden Kippschwingungen des Flansches.



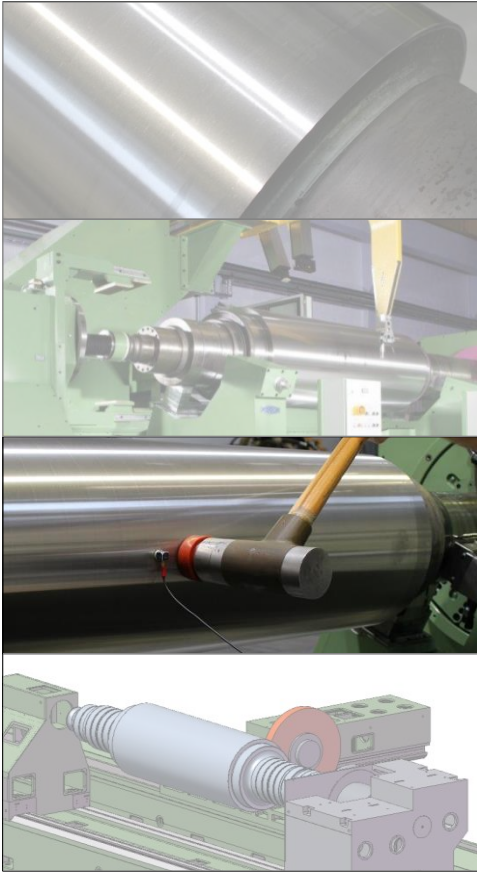
Spindelstock, Reitstock und Schlitten mit flachem Aufbau reduzieren das Risiko von Kippschwingungen der Maschinenaufbauten.

Abrichter mit flachem, gedrungem Aufbau reduziert die Gefahr von Abrichterschwingungen.

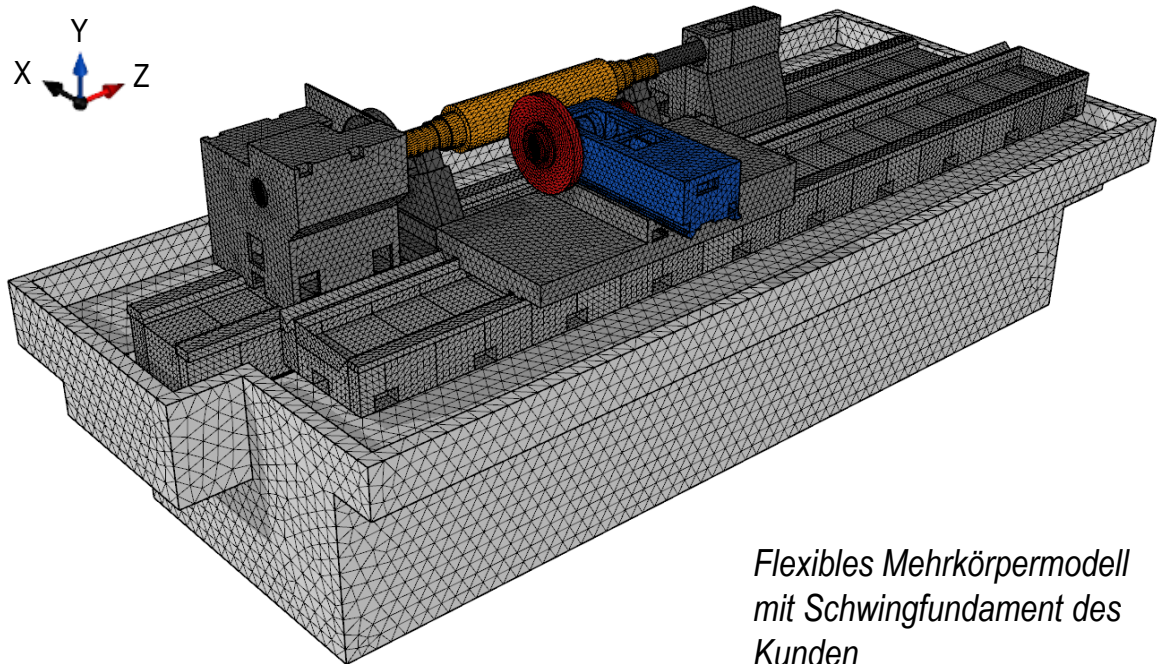
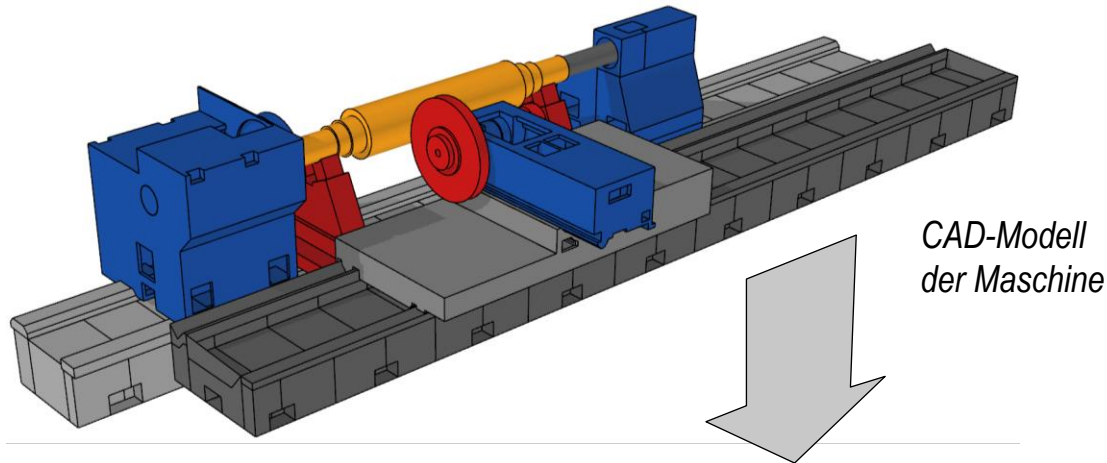
Fundamentierung und Maschinenaufstellung mit hoher Kontaktsteifigkeit vermeiden Aufstellerschwingungen.

Messsysteme aus leichten, eigensteifen Materialien vermeiden Schwingungen bei der Walzenvermessung.

Setzstöcke mit breitem Aufbau und flächigen Spannbacken reduzieren das Risiko von Walzeneigenschwingungen.



- Prozessstabilität statt Schwingungen beim Präzisionsschleifen
- Herausforderungen für die Schleifmaschinenkonstruktion
- Methoden zur Schwachstellenerkennung und -vermeidung
- Maßnahmen zur Stabilitätsoptimierung beim Walzenschleifen
- Zusammenfassung



Maschinensimulation:

- FE-Modellierung und flexible Mehrkörpersimulation der Maschine
- Berücksichtigung aller Strukturkomponenten, Spindeln, Führungsbahnen, Lagerungen und der Aufstellung / Fundamentierung
- Kopplung der Antriebsregelung

Berechnungsmöglichkeiten:

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

Keine Aufgabe von Monaten:

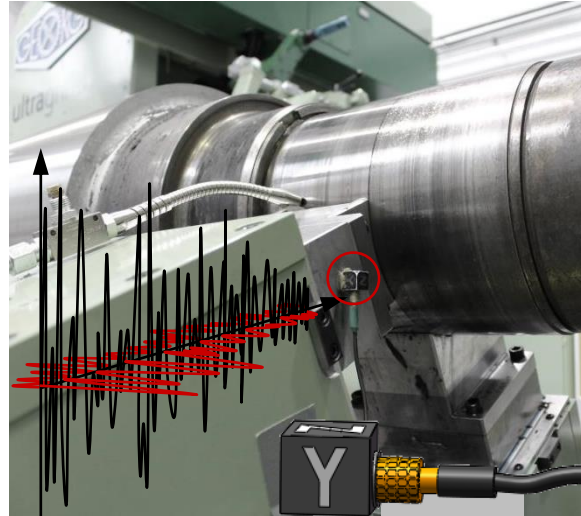
Zeitaufwand für die Berechnung einer Gesamtmaschine inkl. Varianten:

ca. 5 – 7 Tage

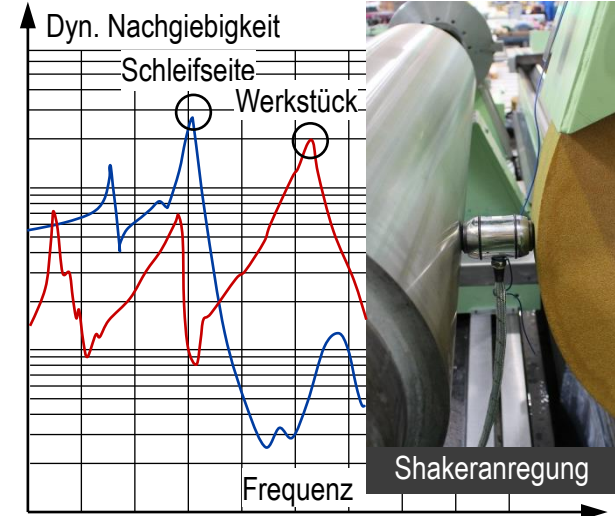
Scan der Schleifoberfläche



Analyse der zerspannten Oberflächen



Schwingungsanalyse der Prozesse



Maschinensteifigkeitsanalyse

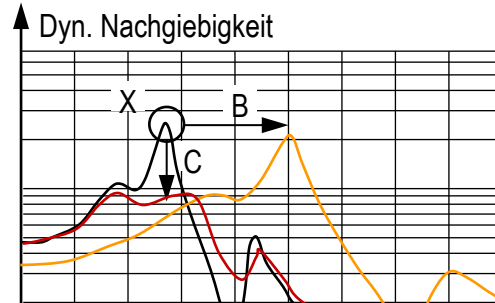
Komplettuntersuchung:

Messung vor Ort:	1 - 2 Tage
Vorauswertung:	sofort
Ergebnisbericht:	2 - 5 Tage
Gesamt:	4 - 7 Tage

davon:

Maschinenstillstand:	1 - 2 Tage
Ergebnis nach:	4 - 7 Tagen

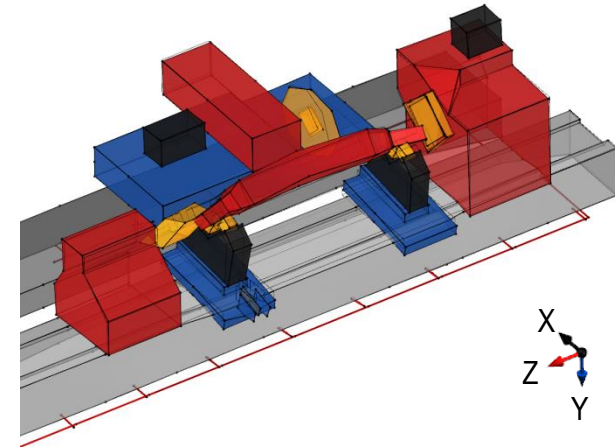
Zeitaufwand



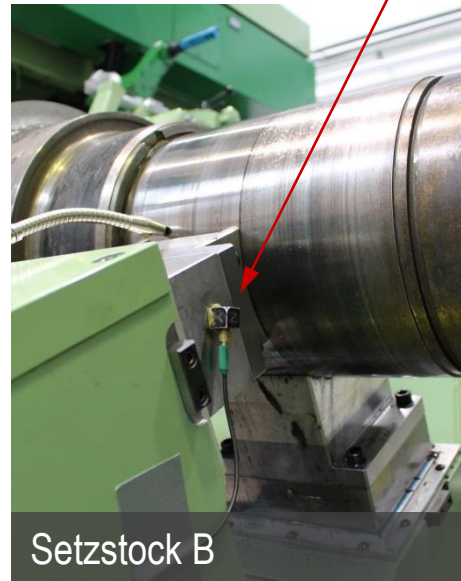
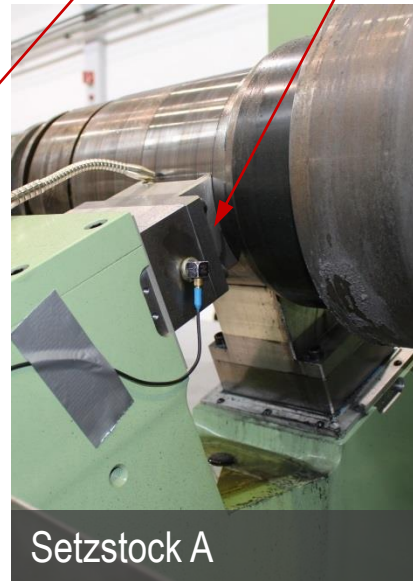
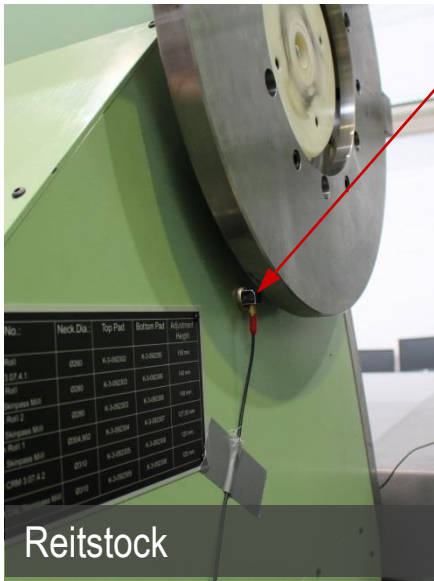
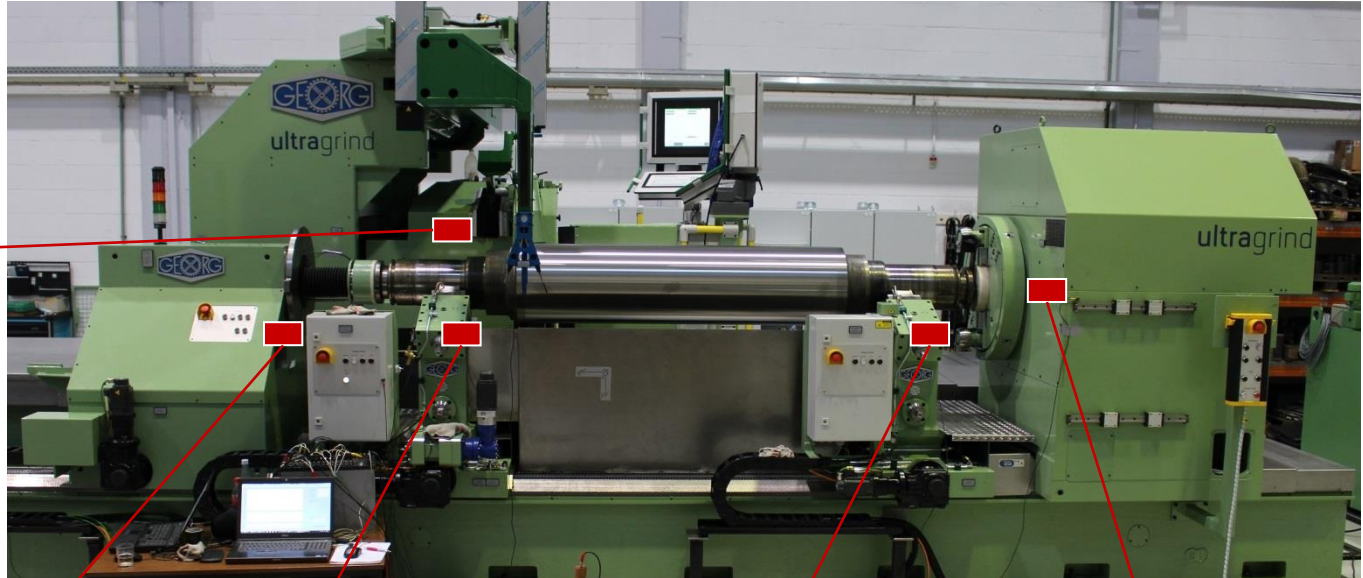
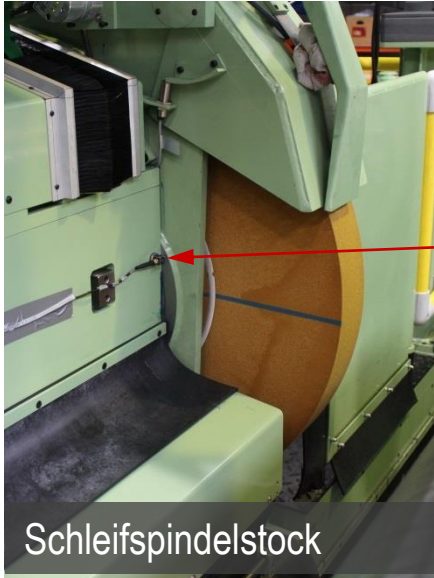
Beurteilung von Verbesserungsmaßnahmen

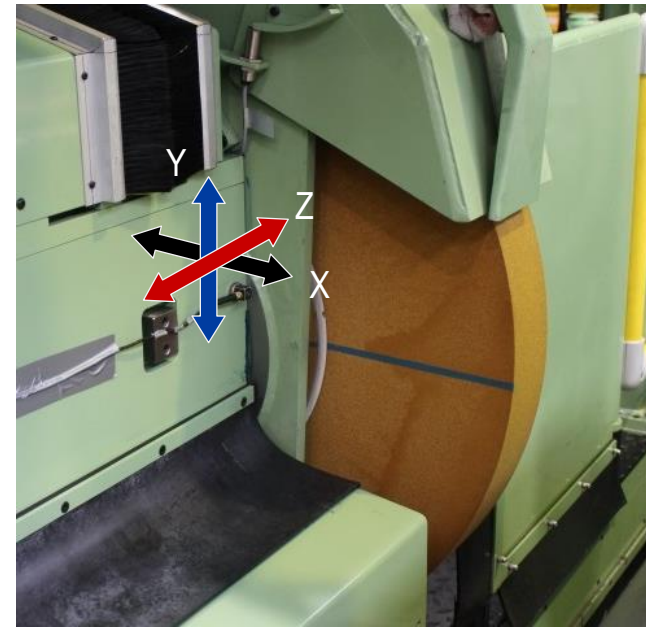
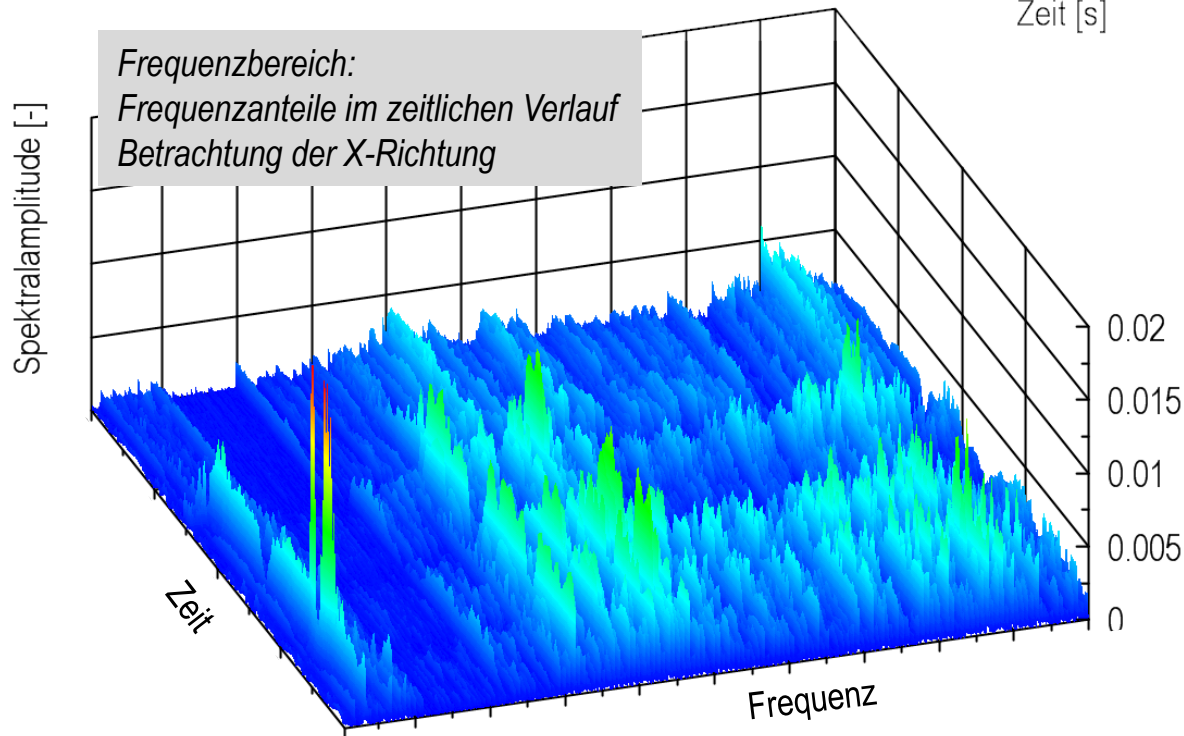
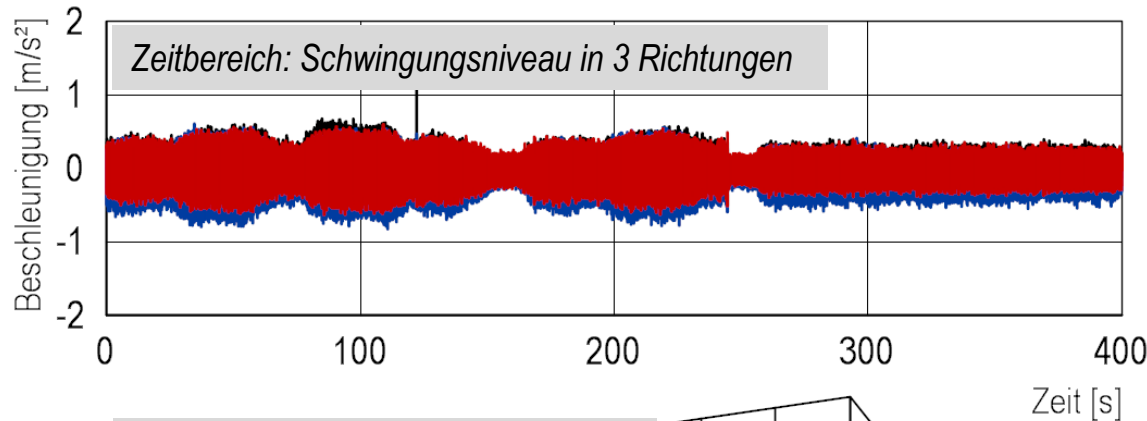
- A: Prozessänderungen
- B: Versteifung von Komponenten
- C: Bedämpfung der Maschinenstruktur
- D: ...

Schwachstellenanalyse/Maßnahmen



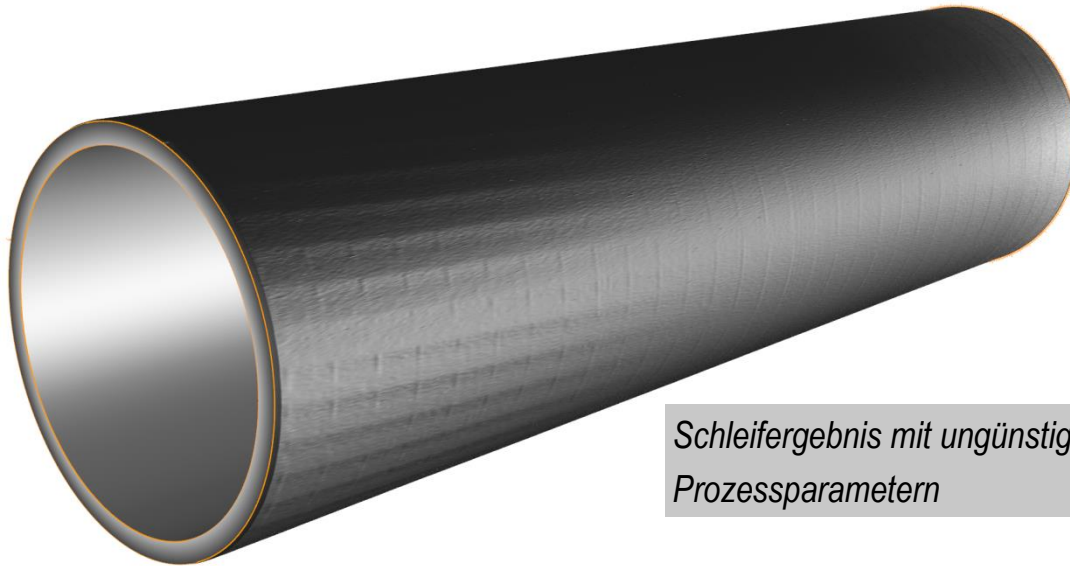
Gesamt- und Detailmodalanalysen



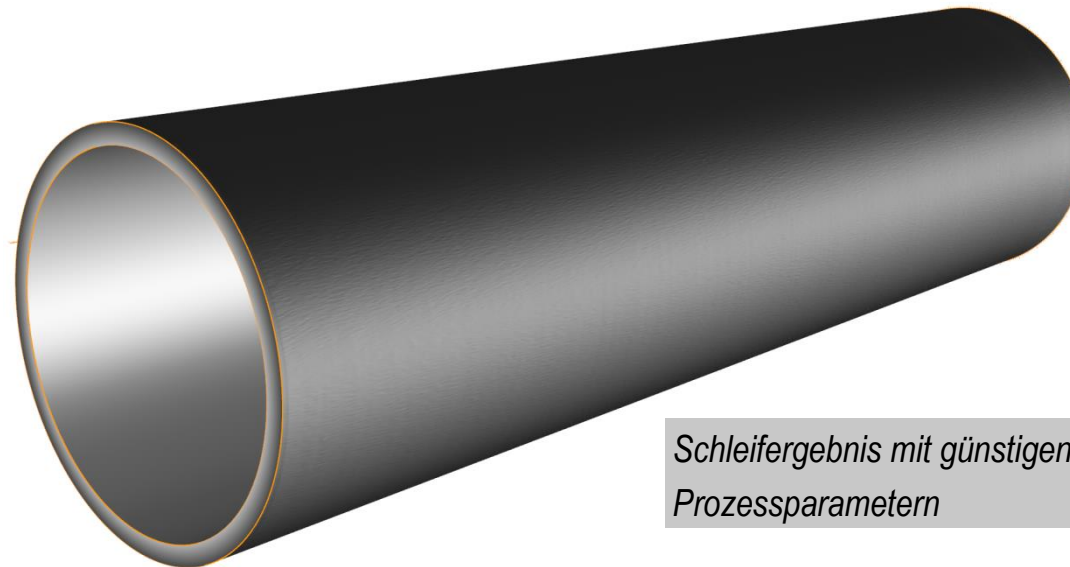


Abricht- und Schleifprozessanalyse

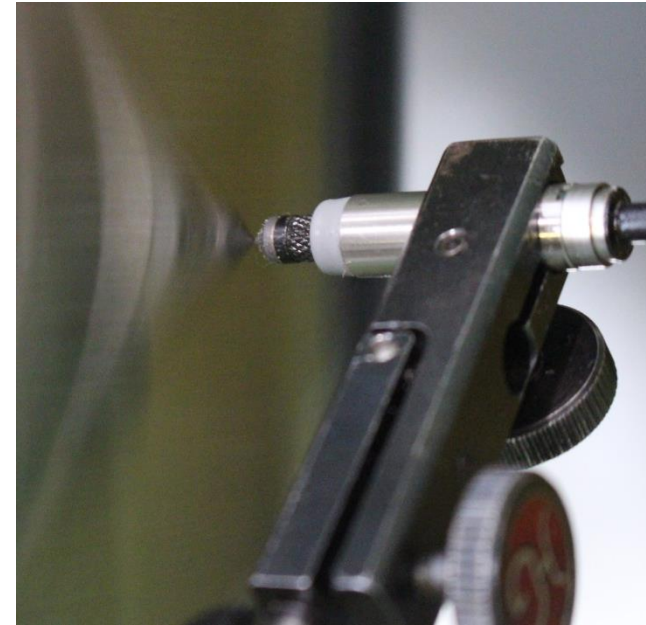
- Messung in jeweils 3 Richtungen
- Auswertung im Zeit- und Frequenzbereich
- Ermittlung und Bewertung der wesentlichen Schwingungsbereiche, -amplituden und -frequenzen



*Schleifergebnis mit ungünstigen
Prozessparametern*

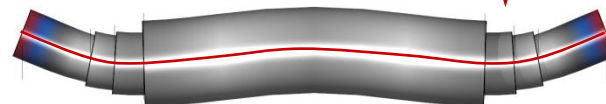
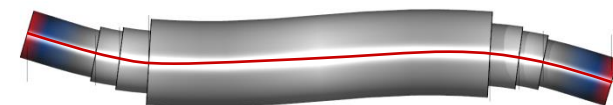
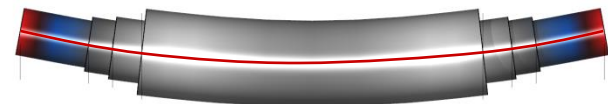
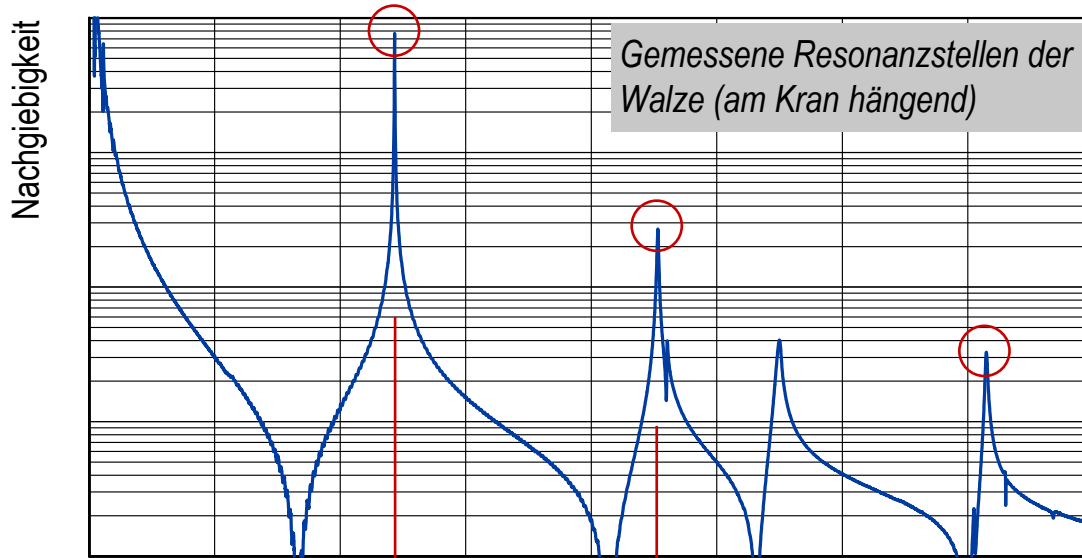


*Schleifergebnis mit günstigen
Prozessparametern*

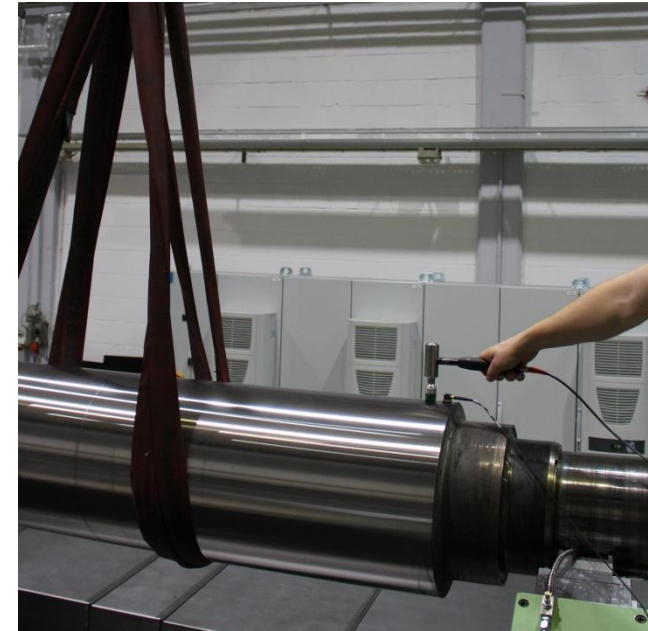


Abtastung der Oberflächen

- Schneller „Scan“ der Oberfläche zur Beurteilung möglicher Welligkeitsanteile mit räumlicher Ausdehnung

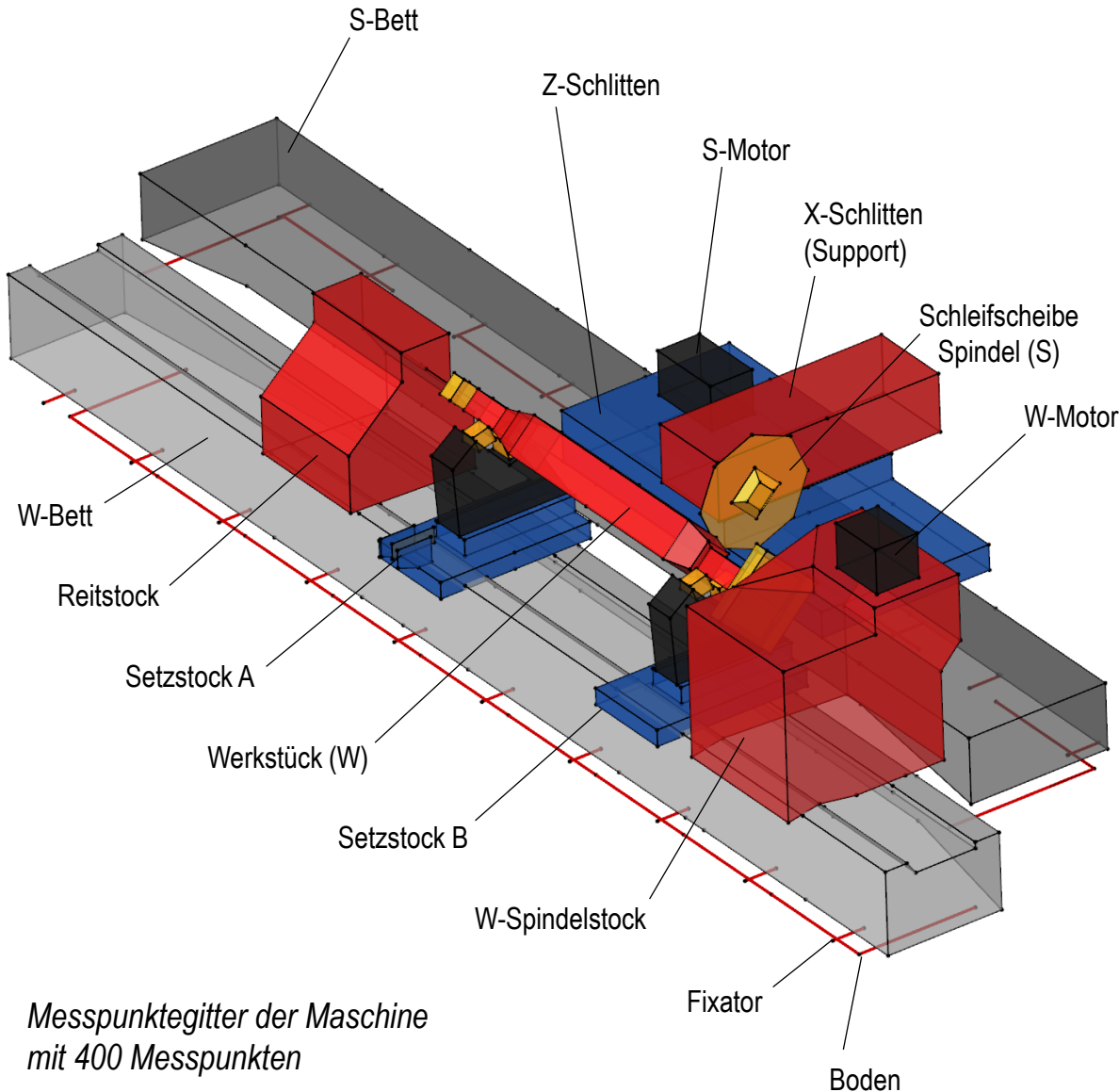


Hinweis: Die Auflage auf den Setzstöcken wird die Resonanzen deutlich dämpfen.

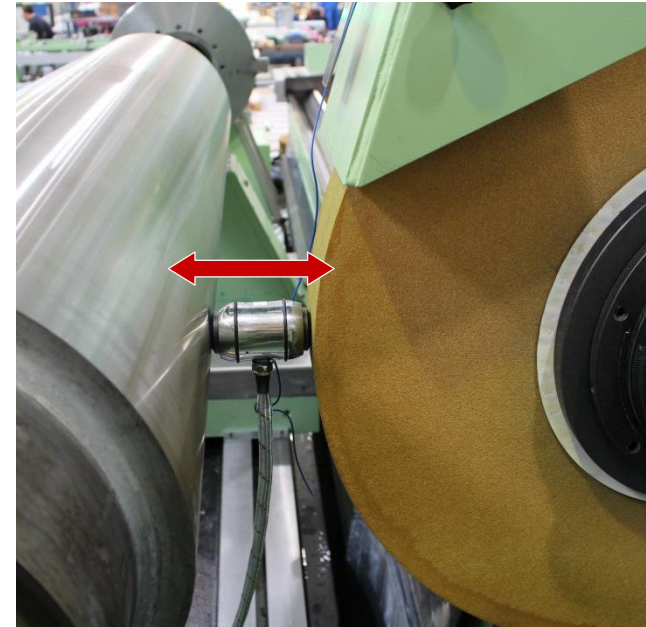


Dynamisches Steifigkeitsverhalten:

- Erfassung der wesentlichen Resonanzen von Maschine und Walze
- Abgleich der Resonanzfrequenzen mit möglichen Schwingungsanteilen im Schleifprozess
- Betrachtung der Dämpfung der Walzeigenschwingung durch die Auflage auf den Setzstöcken

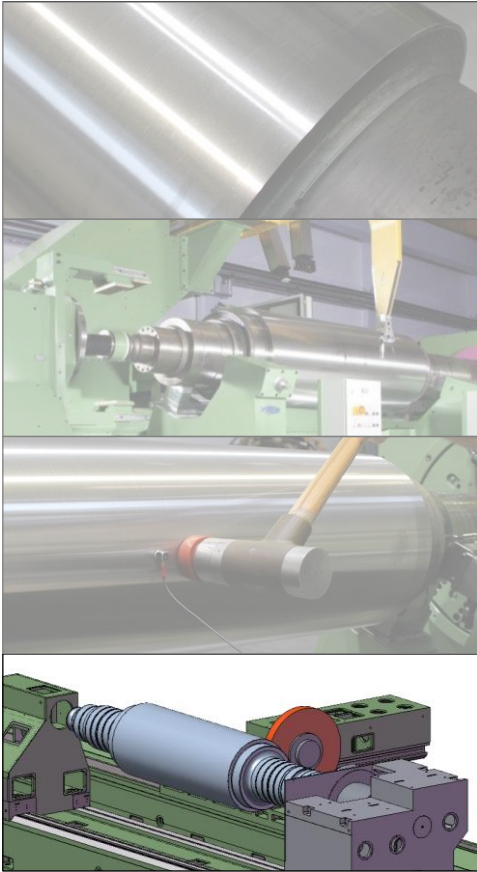


Messpunktegitter der Maschine mit 400 Messpunkten



Modalanalyse:

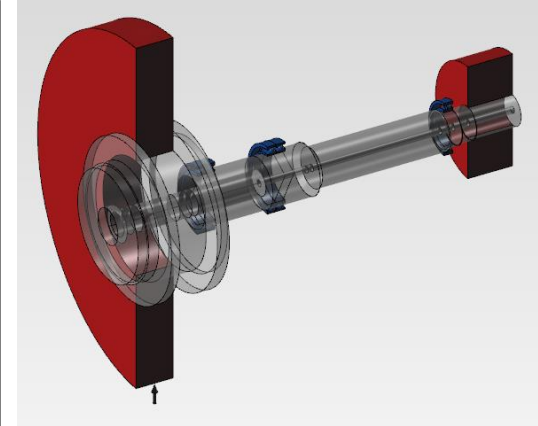
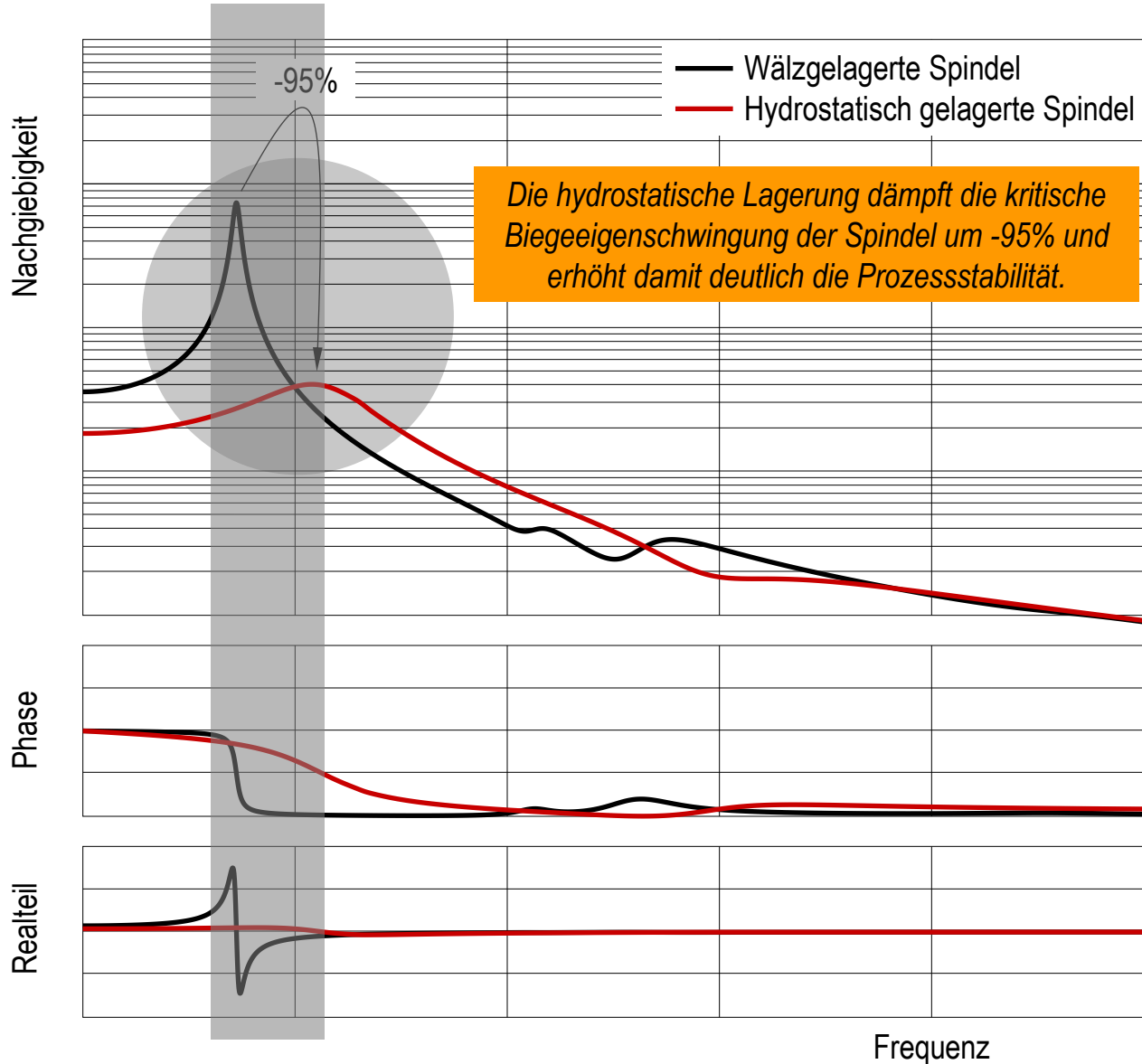
- Relative oder absolute Anregung
- Gerichtete oder räumliche Anregung
- Messung der Maschinenbewegung an 200 – 600 Messpunkten
- Darstellung aller Messpunkte und Animation der kritischen Bewegungsformen



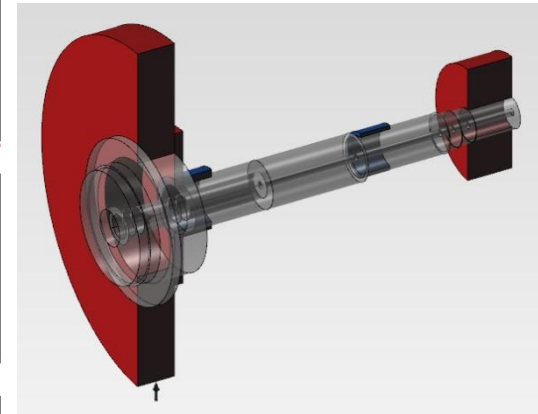
- Prozessstabilität statt Schwingungen beim Präzisionsschleifen
- Herausforderungen für die Schleifmaschinenkonstruktion
- Methoden zur Schwachstellenerkennung und -vermeidung
- Maßnahmen zur Stabilitätsoptimierung beim Walzenschleifen
- Zusammenfassung

Hydrostatik vs. Wälzlagerung – Vorteile im Dämpfungsverhalten

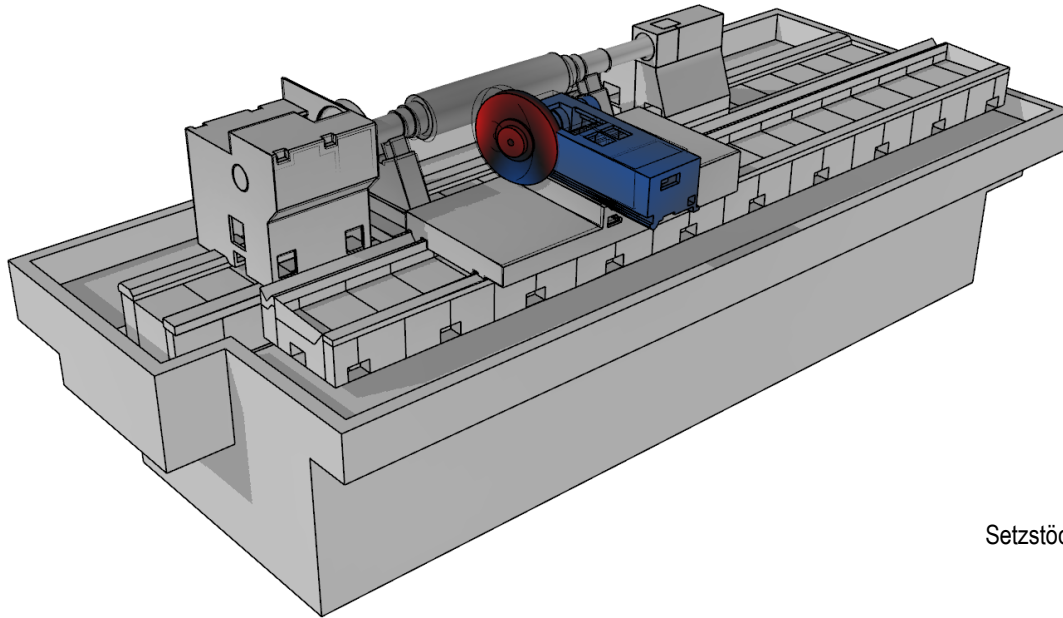
Radialer Nachgiebigkeitsfrequenzgang



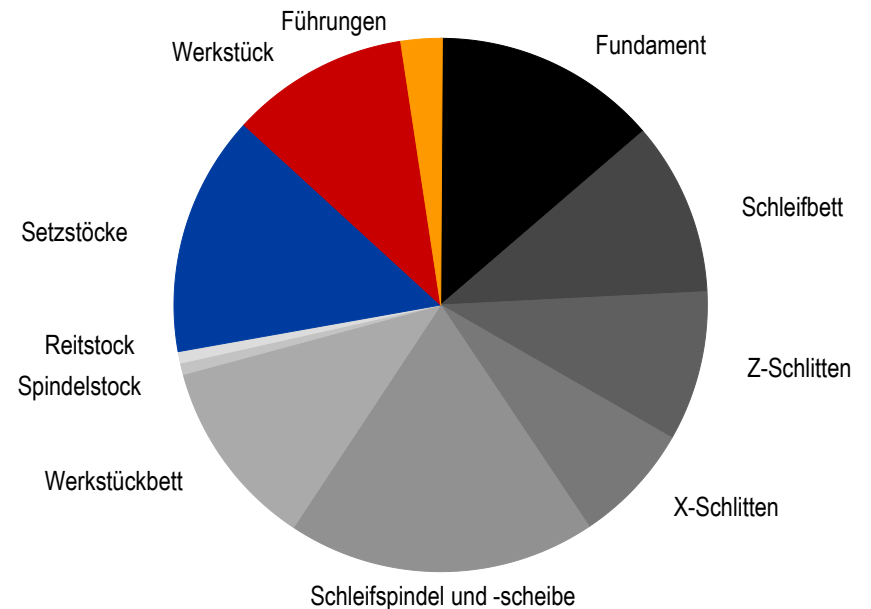
Wälzgelagerte Spindel



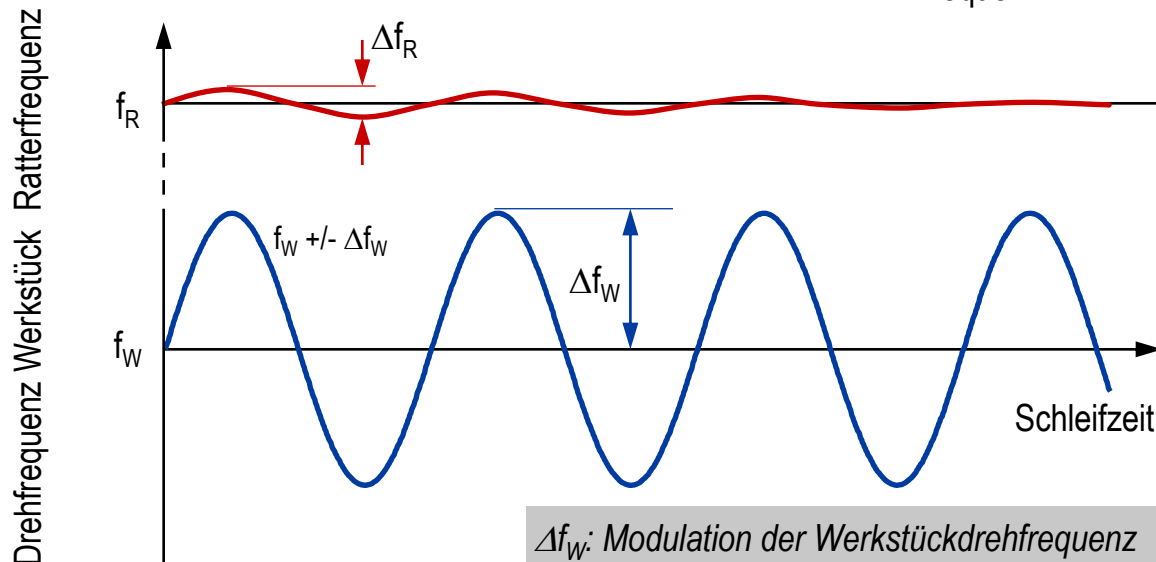
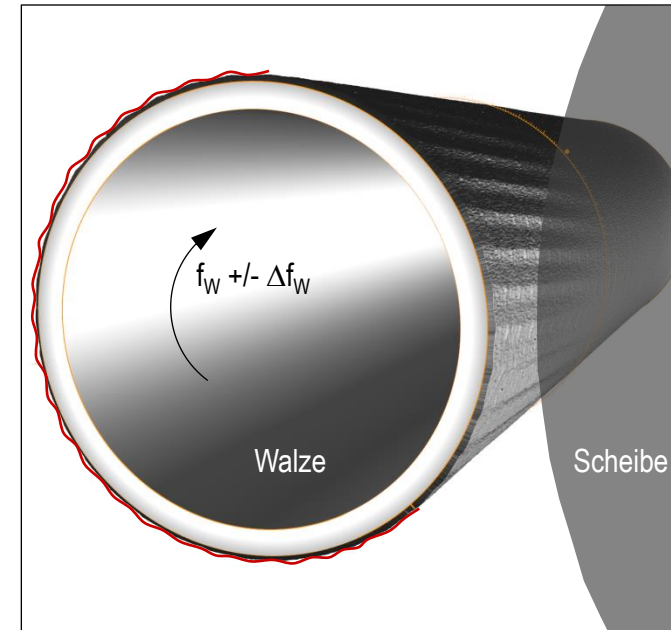
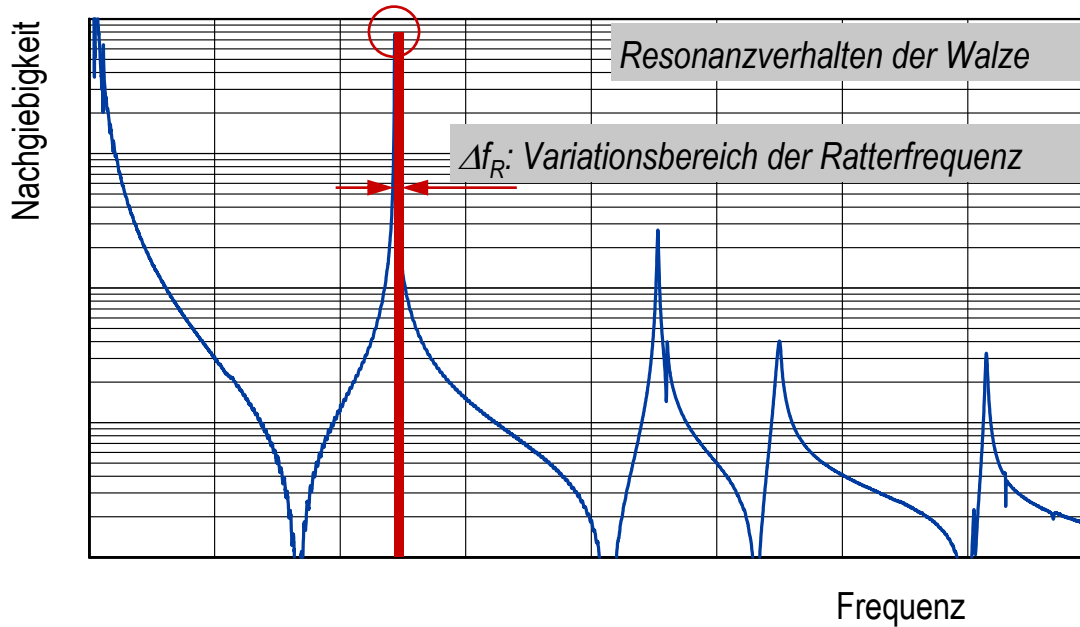
Hydrostatisch gelagerte Spindel



Anteile der einzelnen Komponenten an der Gesamtverformung



Mit Schwingfundament des Anwenders wird eine gleichmäßige Verteilung der Verformungsanteile erreicht

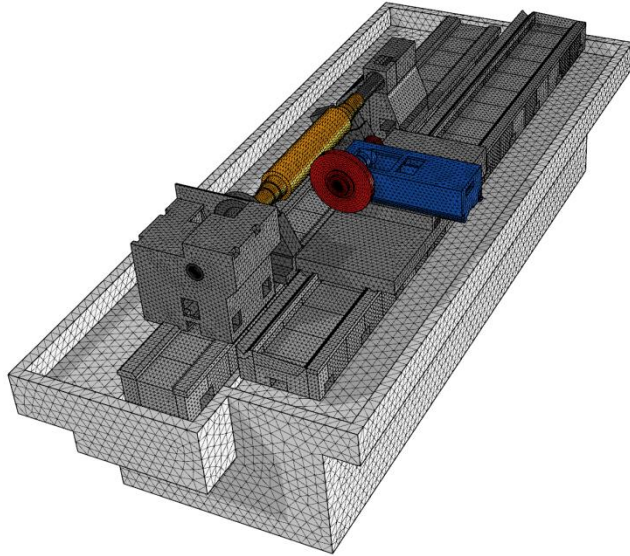


Drehzahlmodulationen:

- **Schleifdrehzahlmodulation:** Reduziert den Einfluss durch die geometrische bzw. massebedingte Restunwucht
- **Werkstückdrehzahlmodulation:** Stört die Welligkeitsbildung durch den regenerativen Rattereffekt über mehrere Überschliffe



- Prozessstabilität statt Schwingungen beim Präzisionsschleifen
- Herausforderungen für die Schleifmaschinenkonstruktion
- Methoden zur Schwachstellenerkennung und -vermeidung
- Maßnahmen zur Stabilitätsoptimierung beim Walzenschleifen
- Zusammenfassung



- Verschiedenste Schwingungseinflüsse können die Werkstückqualität beim Schleifen reduzieren.
- Die Entwicklung von Walzenschleifmaschinen muss die Anforderungen „hohe dynamische Stabilität beim Leistungsschleifen“ und „hohe Schleifpräzision beim Feinschlichten“ kombinieren.
- Modernste Simulationsverfahren helfen bereits frühzeitig bei der Optimierung des statischen und dynamischen Steifigkeitsverhalten einer Walzenschleifmaschine.
- Bewährte Messstrategien zur Schwingungs- und Steifigkeitserfassung ermöglichen eine schnelle und systematische Maschinen- und Prozessanalyse.
- Beispiele zeigten die Relevanz einer guten Maschinenfundamentierung und einer Schleifspindel mit hohem Dämpfungsverhalten zur vollen Nutzung der dynamischen Leistungsfähigkeit einer Walzenschleifmaschine.

planlauf

planlauf GmbH
Steinbachstraße 25
52074 Aachen
Telefon 0241 / 568 2768-0
Telefax 0241 / 568 2768-98
www.planlauf.com

Ihr Ansprechpartner

Dr.-Ing. Severin Hannig
Telefon 0241 / 568 2768-11
s.hannig@planlauf.com



mit uns **technisch überlegen**

Heinrich Georg GmbH
Langenauer Str. 12
57223 Kreuztal
Telefon 02732 / 779 306
wzm@georg.com