
Verbesserung der Oberflächenqualität und Produktivität durch simulative Optimierung und Anwendung aktiver Dämpfer

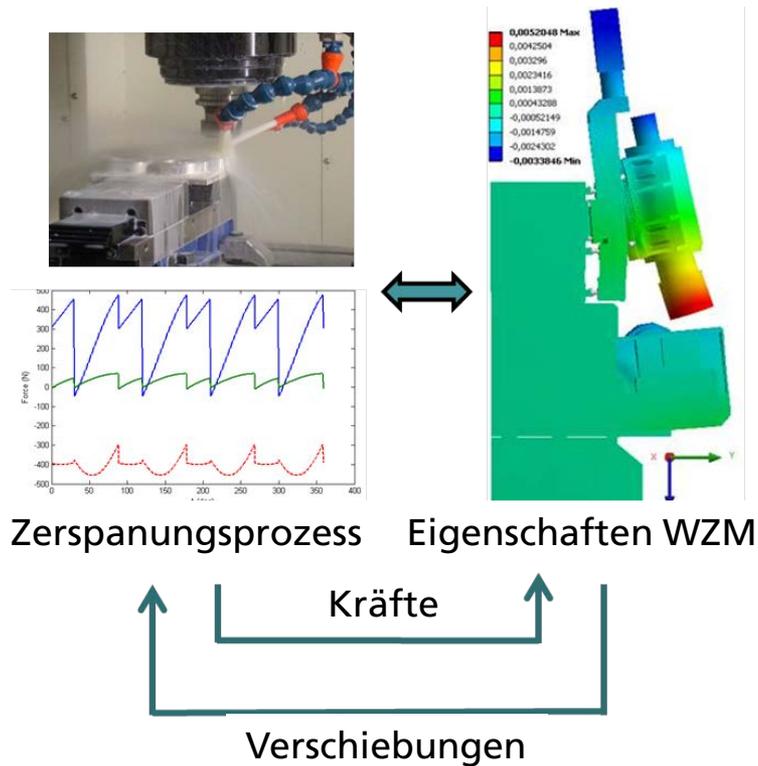
Wabner, M.

Fraunhofer IWU, Chemnitz

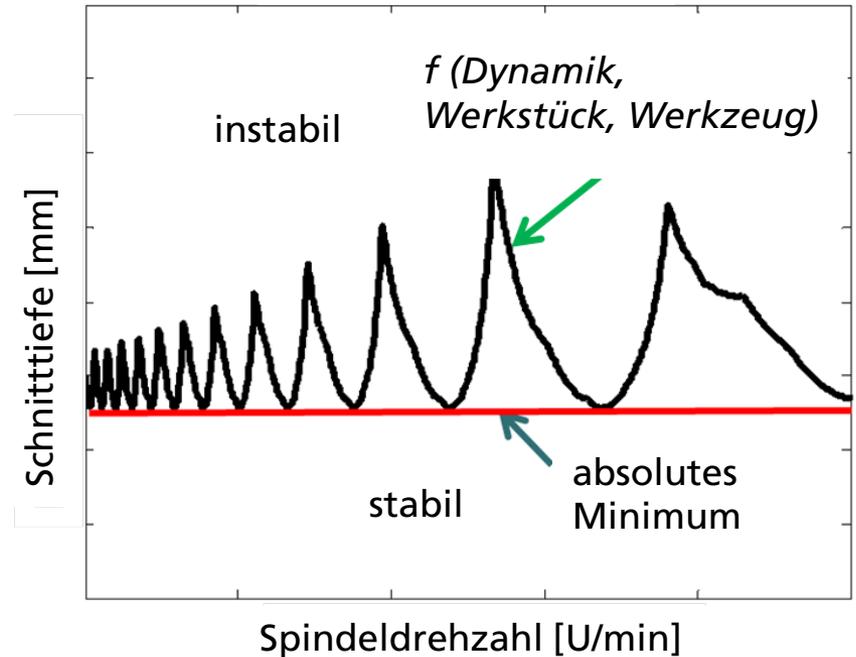
Inhalt

- Einführung zum Rattern
- Motivation für die Erhöhung der Prozessstabilität
- Maßnahmen zur Erhöhung der Prozessstabilität
- Anwendungsbeispiel
- Ansprechpartner

Einführung: Rattern

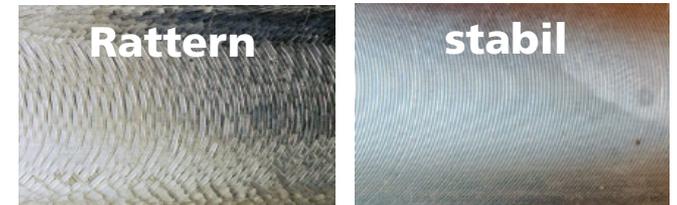


Stabilitätskarten

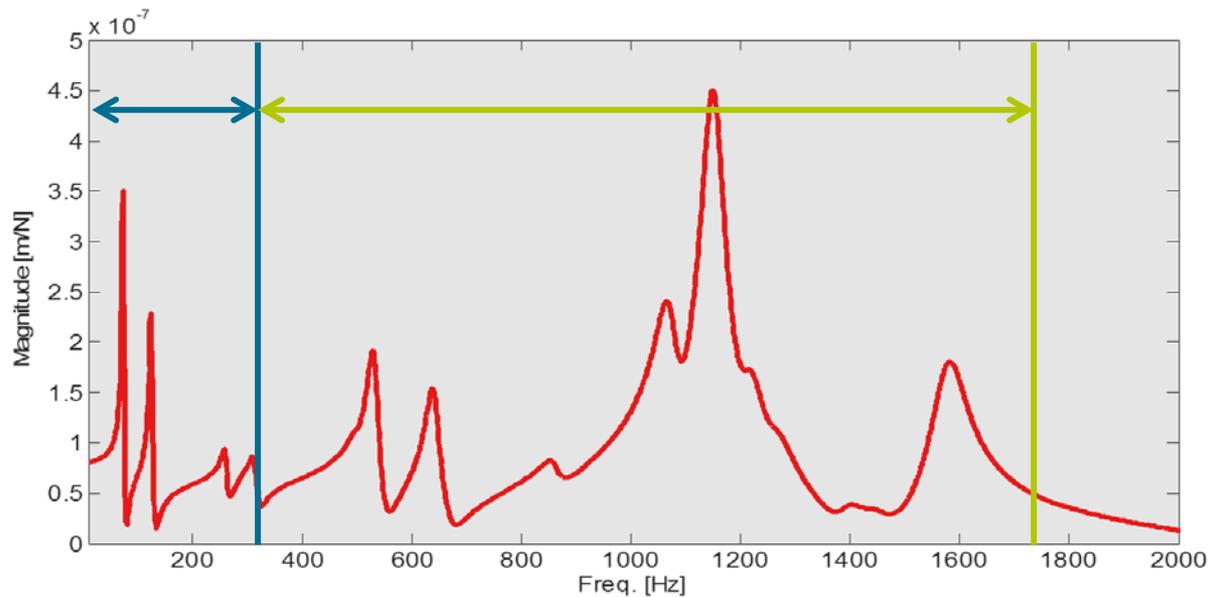
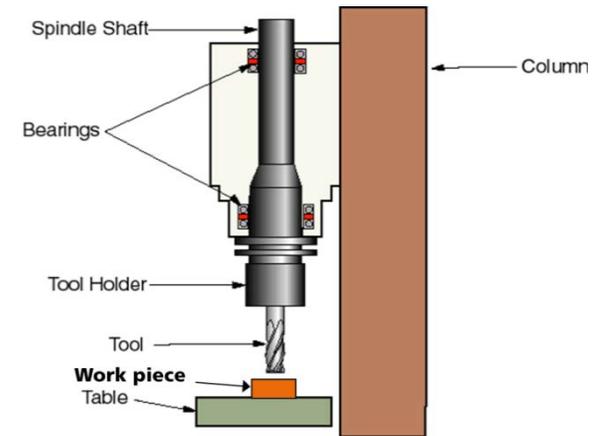
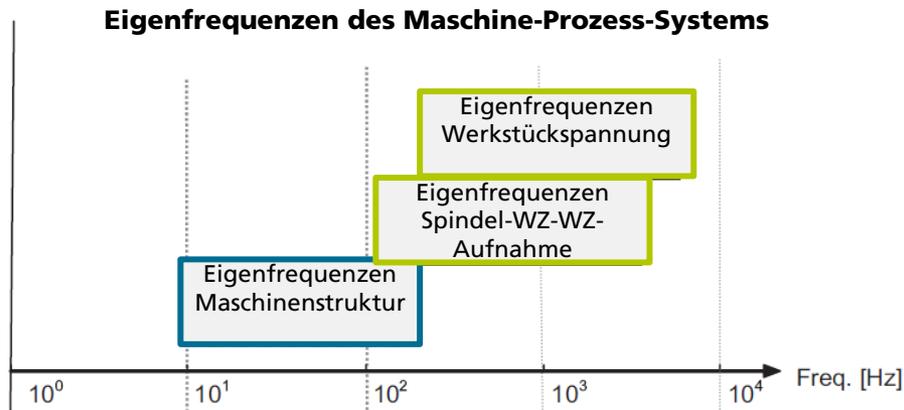


Charakteristik von Rattern

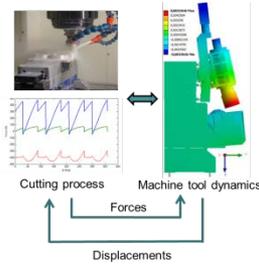
- Ratterfrequenz \approx Eigenfrequenz Maschine
- Erhöhung der Schnittkräfte, Werkzeugschwingungen, Lärm
- Stabile Schnittsignale dominiert durch Zahneingriffsfrequenz
- Instabile Signale enthalten zusätzliche Frequenzen ($\sim f_n$)



Einführung: Beteiligte Maschinenkomponenten

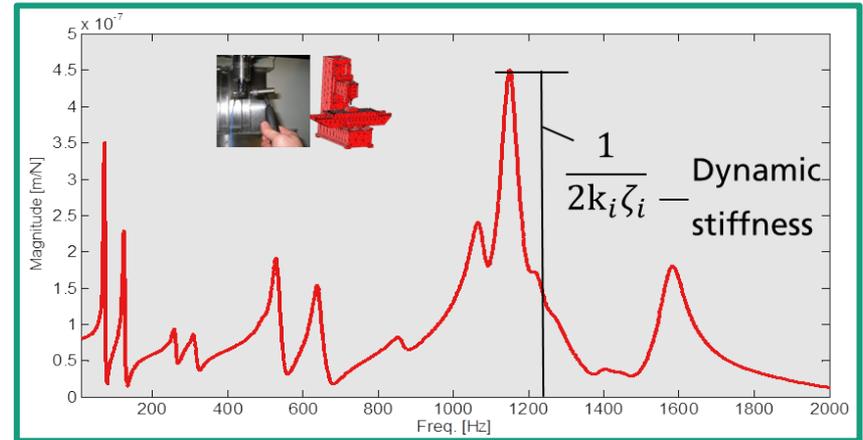
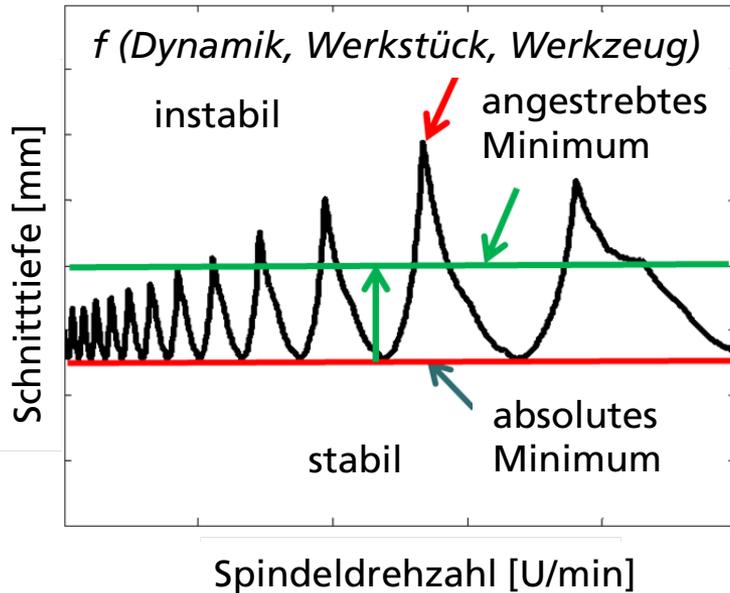


Motivation für die Erhöhung der Prozessstabilität



Alle anderen Parameter konstant:
 Absolutes Minimum Schnitttiefe, a_{lim} :

$$a_{lim} \cong 2k\zeta$$



Verbesserte
 dynamische
 Steifigkeit

Erhöhte
 Produktivität

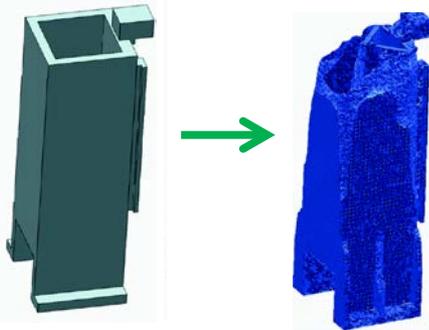
Eingriffsmöglichkeit: Erhöhung der dynamischen Steifigkeit

Strukturoptimierung

$$a_{lim} \cong 2k\zeta$$

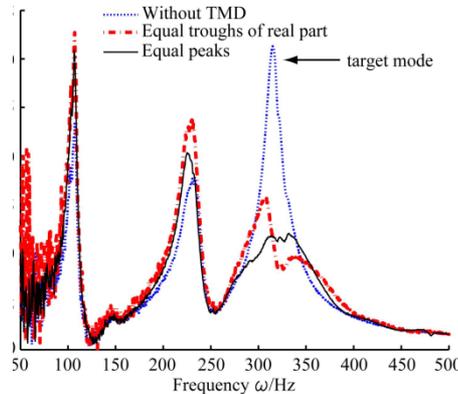
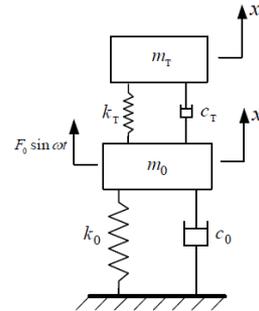
Steifigkeit:

$k = f(E - \text{Modul};$
 $\text{Geometrie})$



Festlegung im
Entwicklungsprozess

Passive Dämpfer

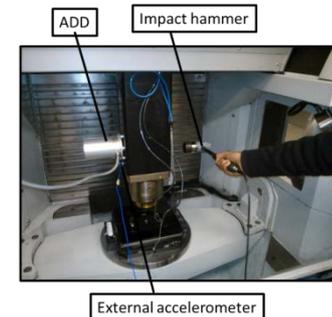


Schlecht geeignet bei
veränderlicher Dynamik

Aktive Dämpfer



Zäh and Baur (2011)

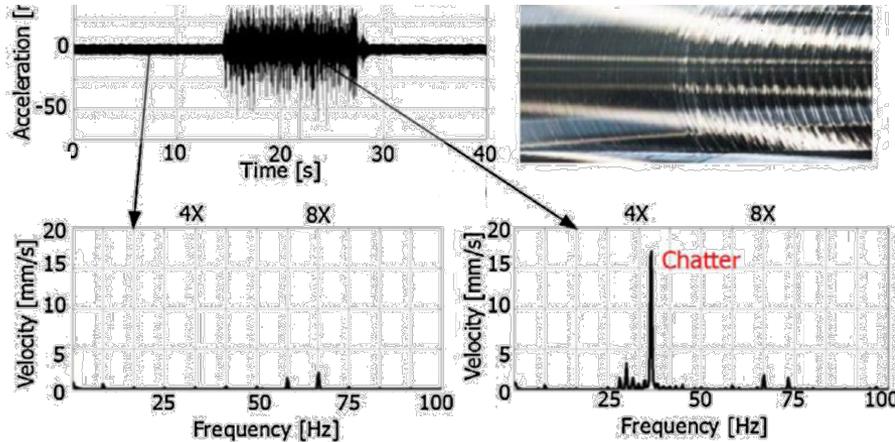


Ihlenfeldt et. al. (2013)

Sehr robust und effektiv,
jedoch Strategie zur
Dimensionierung und
Integration notwendig

Eingriffsmöglichkeit: Online-Maßnahmen

Online-Rattererkennung



Source: Munoa, IK4-Ideko

Zahneingriffs-
frequenz:

$$f_t = \frac{N \times N_t}{60};$$

N - Drehzahl [U/min];
 N_t - Anzahl Zähne

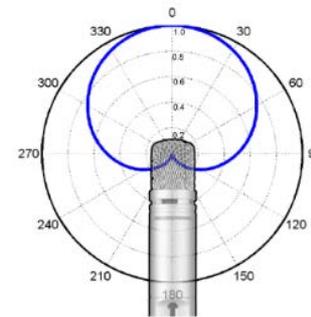
Ratterfrequenz:

$$f_c = f_n \pm c f_t;$$

$c = \{0, 1, 2, \dots\};$
 f_n - Eigenfrequenz

Online-Erkennung durch:

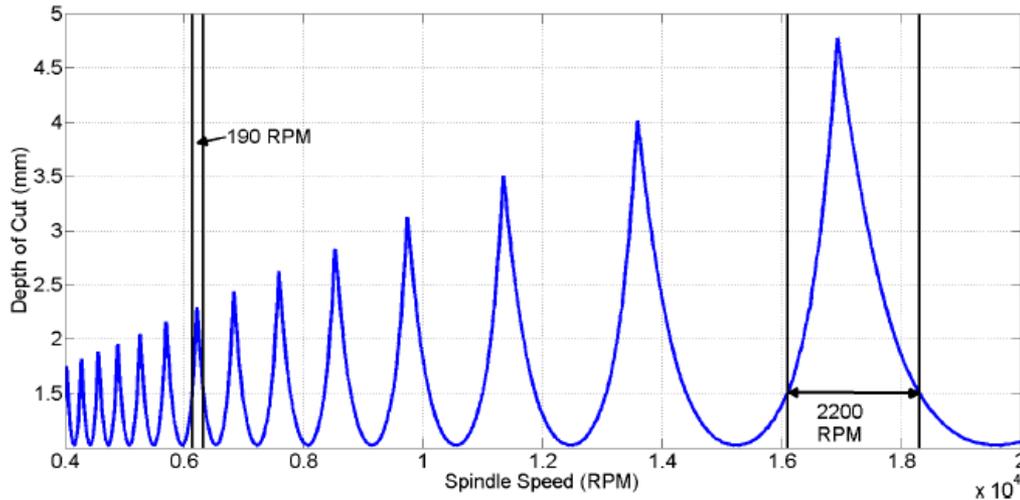
- Dynamometer
- Beschleunigungs-, Wegsensoren
- Mikrofone



Typisches Polardiagramm
eines Richtmikrofons

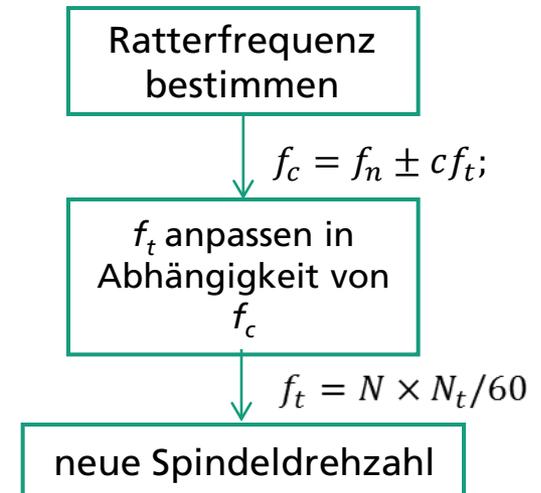
Eingriffsmöglichkeit: Online-Maßnahmen

Rattervermeidung = f (Spindeldrehzahl)



Ratterkarte für einen 12 mm-Durchmesser Fräser,
75% Überdeckung, Gleichlaufräsen von Al7075

Verschiebung Spindeldrehzahl (SSS)



Verschiebung der Spindeldrehzahl (SSS) ist bei niedrigen Drehzahlen nicht sinnvoll

Niedrige Drehzahl: ~6000 U/min, Wellenabstand ~190 U/min,
d.h. 3 Hz

Hohe Drehzahl: ~16000 U/min, Wellenabstand ~2200 U/min,
d.h. 37 Hz

Source: Sekhon, UBC

Eingriffsmöglichkeit: Online-Maßnahmen

Verschiebung Spindeldrehzahl (SSS): geeignet bei hohen Drehzahlen

Auswahl günstiger Spindeldrehzahlen

Ratterfrequenz bestimmen

$$f_c = f_n \pm c f_t;$$

$$c = \{0, 1, 2, \dots\};$$

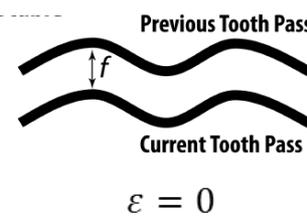
$$f_t = N \times N_t / 60$$

Zusammenhang zwischen Zahneingriffen

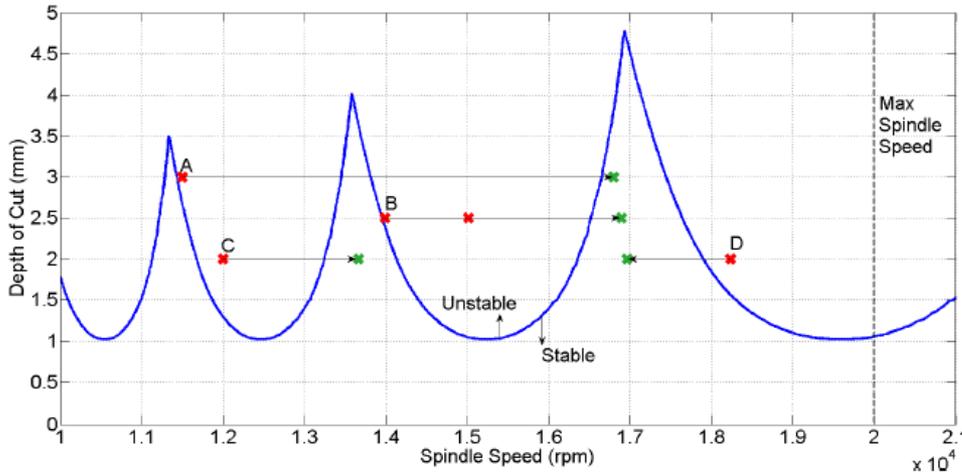
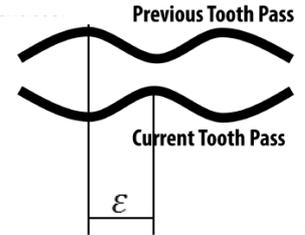
$$\frac{f_c}{f_t} = k + \frac{\varepsilon}{2\pi}$$

k – Anzahl ganzer Wellen

stabil



Rattern



Source: Sekhon, UBC

If $\varepsilon \neq 0$

$k_{new} > k$
Drehzahl-
verringering

$k_{new} \leq k$
Drehzahl-
erhöhung

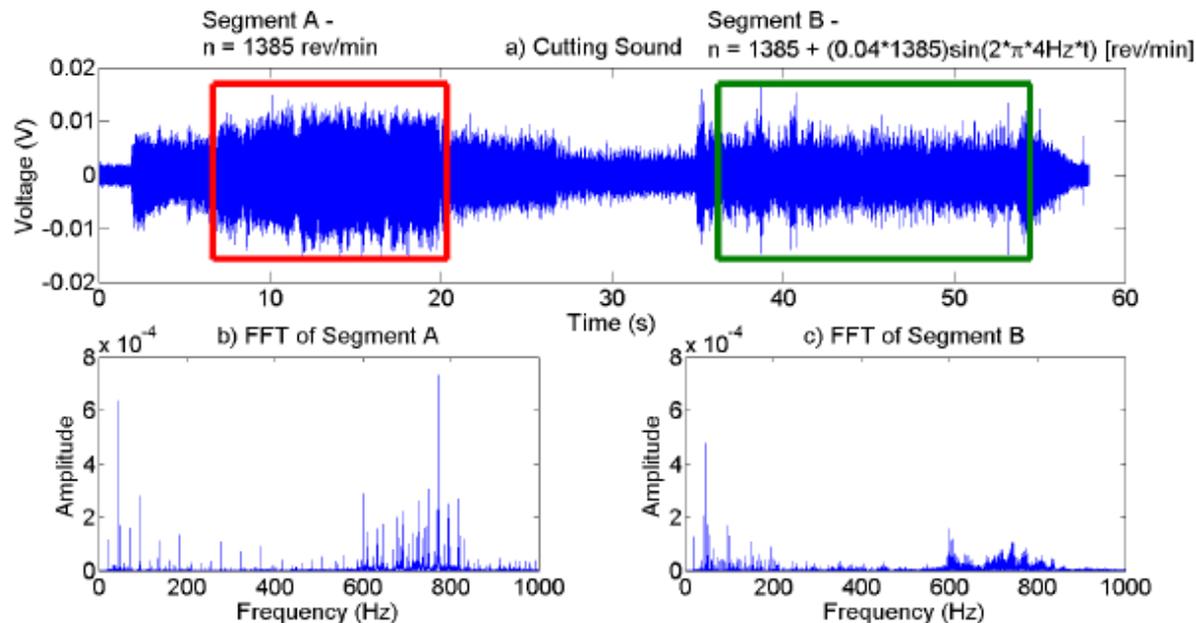
$$N_{new} = \frac{60 f_c}{k_{new} N_t}$$

Eingriffsmöglichkeit: Online-Maßnahmen

Variation Spindeldrehzahl (SSV): geeignet bei niedrigen Drehzahlen

Sinusförmige Variation der Spindeldrehzahl

$$N = \bar{N} + \tilde{N} \sin(2\pi f_{SSV} t)$$

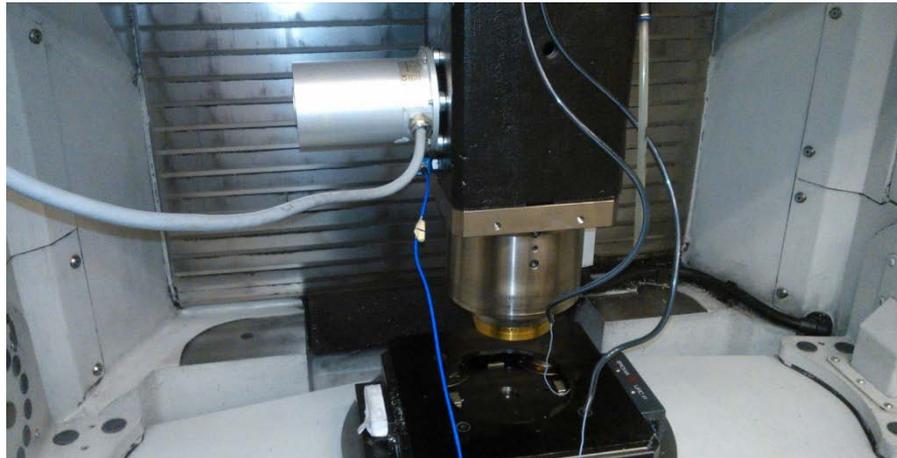


Ergebnisse vom Nutenfräsen von AISI-1045 Stahl mit 3.5 mm Schnitttiefe und 1385 U/min Ausgangsspindeldrehzahl ohne SSV (Segment A) und mit SSV von 4% Amplitude und 4 Hz Variationsfrequenz (Segment B): a) Schnittgeräusche, b) FFT des Segments A, c) FFT des Segments B

Source: Sekhon, UBC

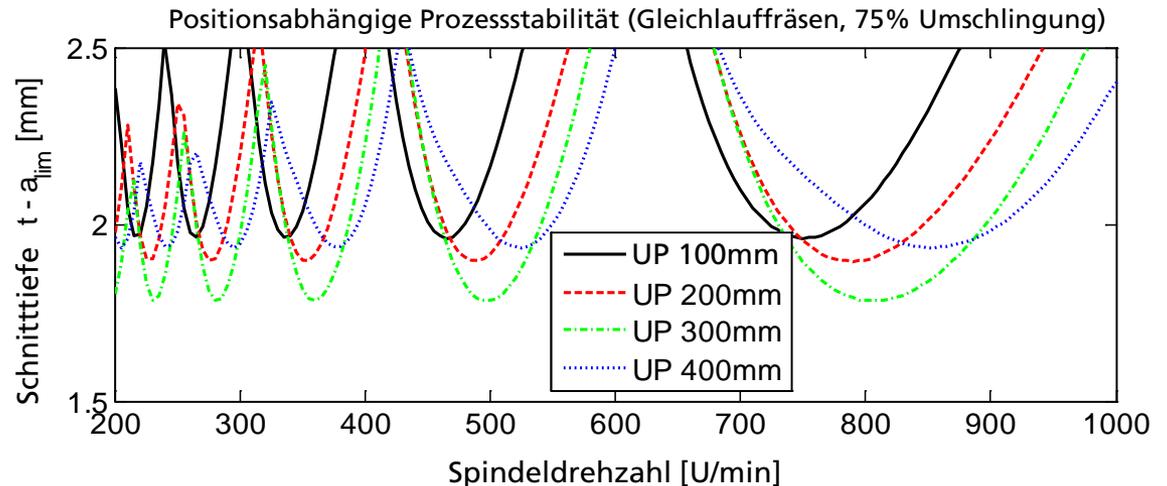
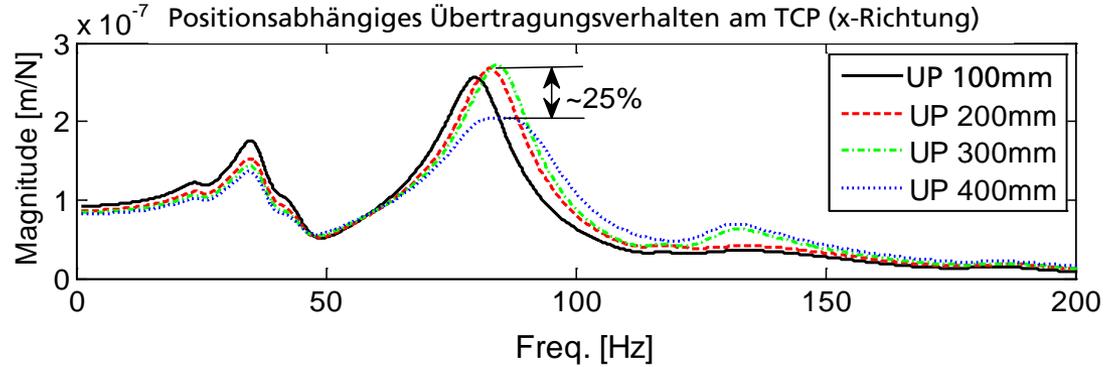
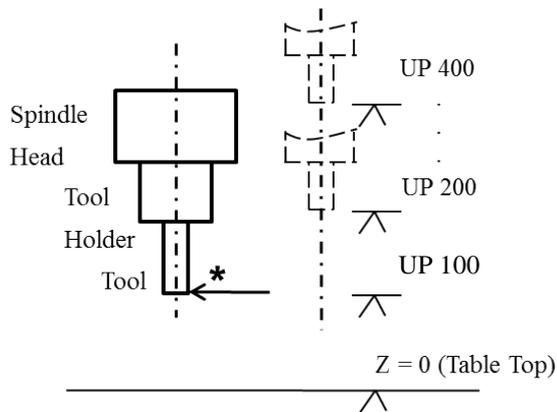
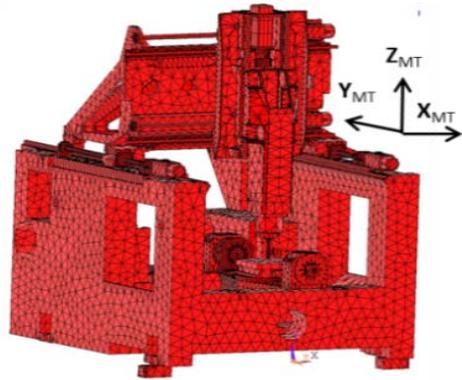
Anwendungsbeispiel

Erhöhung der Prozessstabilität durch aktive Dämpfung



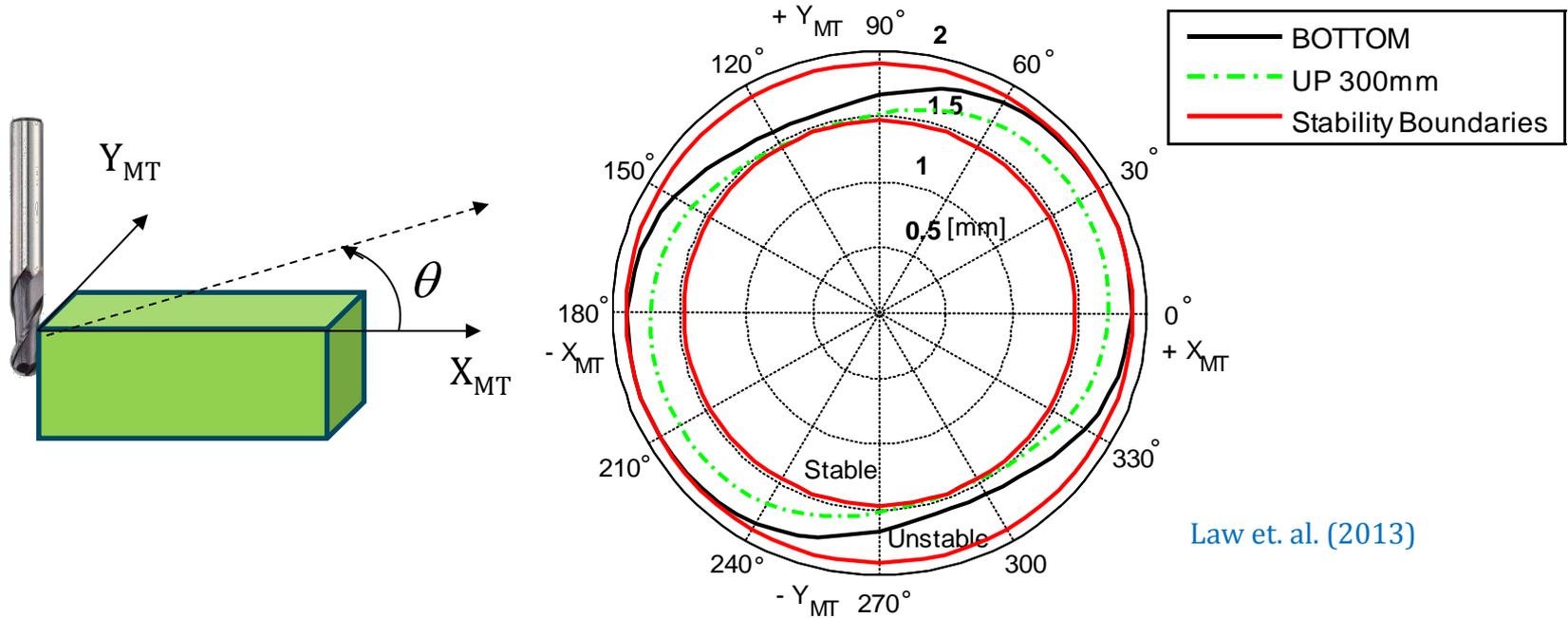
Schritt 1: Analyse der Maschineneigenschaften

Analyzierte Maschine:



Schritt 2: Definition von Zielparametern

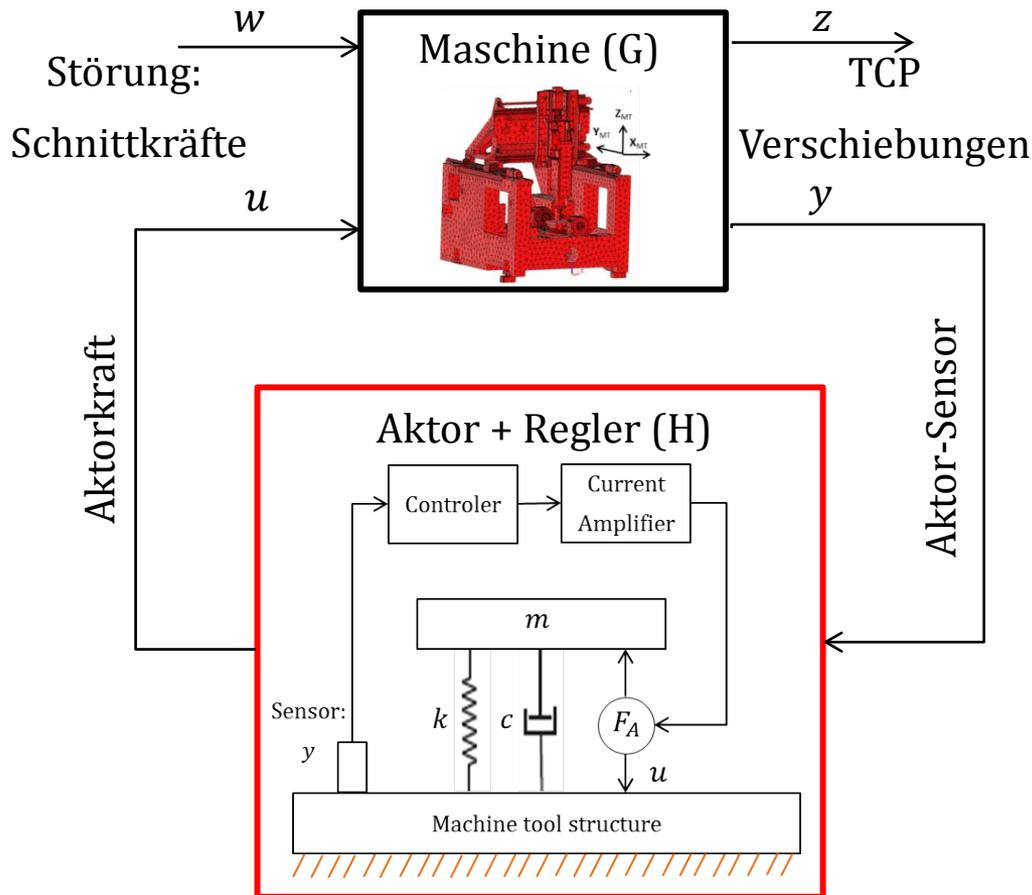
- Zusätzlich zur positionsabhängigen Stabilität auch häufig relevante Richtungsabhängigkeit



Zielparameter: Grenzspannungsbreite **2 mm**, d.h. stabiles Zerspanen im Arbeitsraum mit ca. 30% erhöhtem Zeitspanvolumen

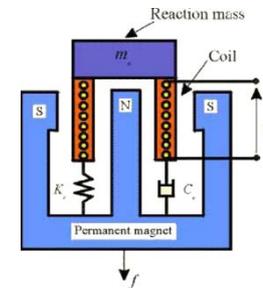
Schritt 3: Integration eines aktiven Dämpfungssystems

Prizip: Inertialmasse-Aktor



Wirkprinzip: Aktives Einbringen zusätzlicher viskoser Dämpfung in die Maschine

Aktorik: Schwingspulenprinzip



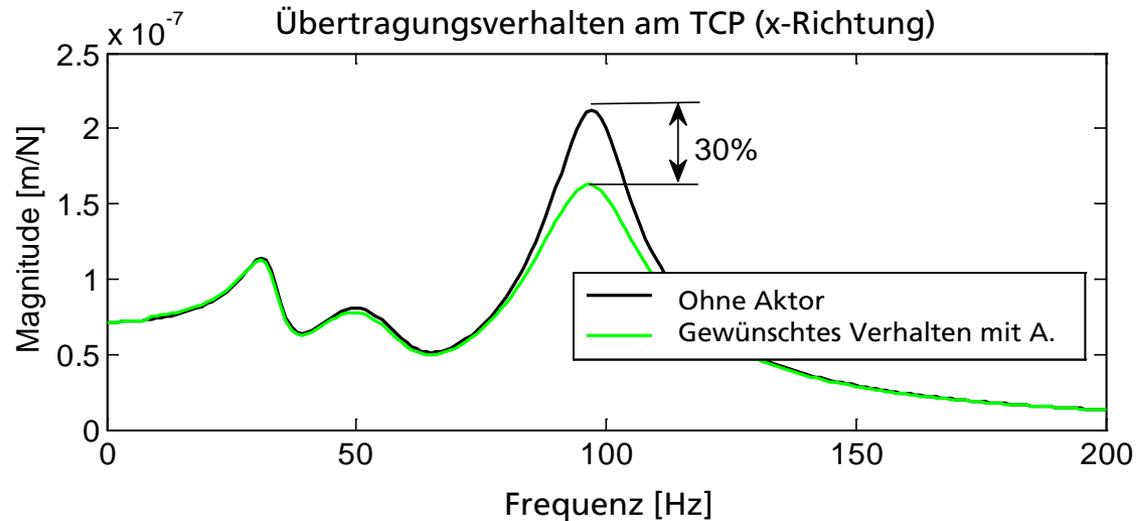
Übertragungsfunktion Gesamtsystem

$$\frac{Z}{W} = \left[G_{zw} + G_{zu} H (I - G_{yu} H)^{-1} G_{yw} \right]$$

Übertragungsfunktion des geregelten Aktorsystems

$$H = \frac{F}{i} = \frac{-s^2 TK}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Schritt 4: Dimensionierung und Auswahl des aktiven Dämpfers



Aktorauswahl

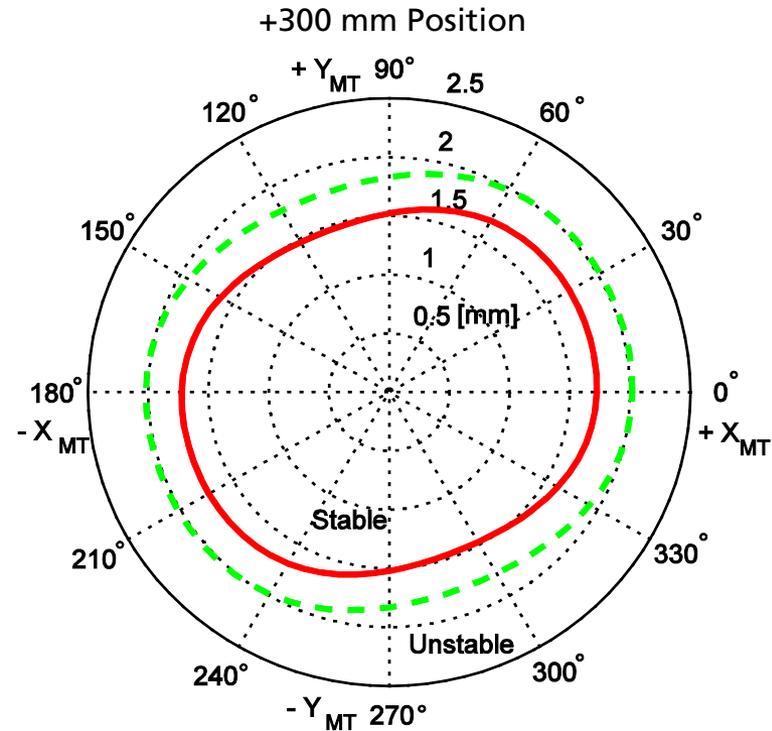
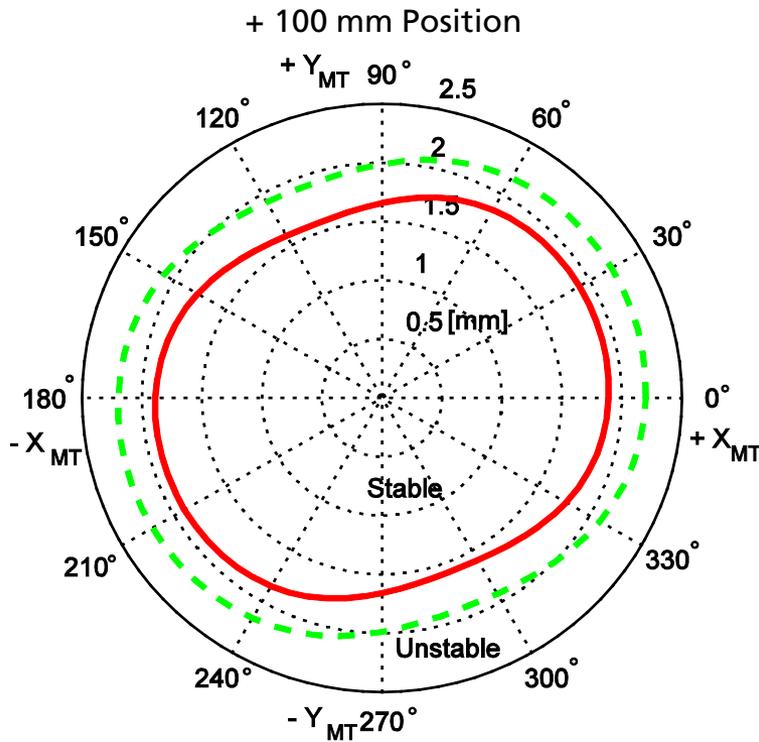
Parameter	Optimierungsergebnis	Auswahl (Katalog)
Masse [kg]	2.309	2.2
Steifigkeit [N/m]	6435	6130
Dämpfung	0.15	0.15
Kraftkonstante [N/A]	21.36	20



Micomega ADD45
Max. Aktorkraft 45 N

Verbesserte Prozessstabilität mit aktiver Dämpfung

--- mit Aktor — ohne Aktor

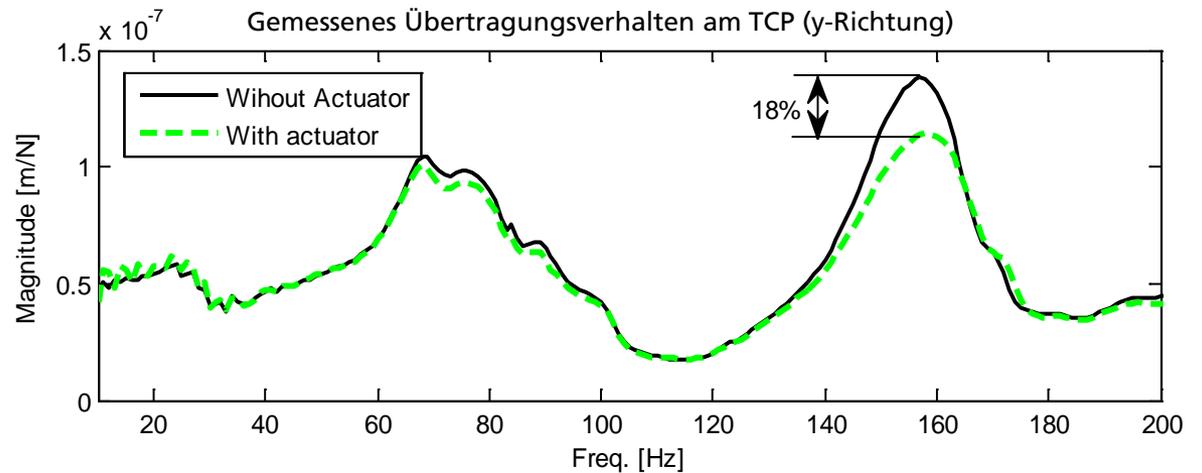
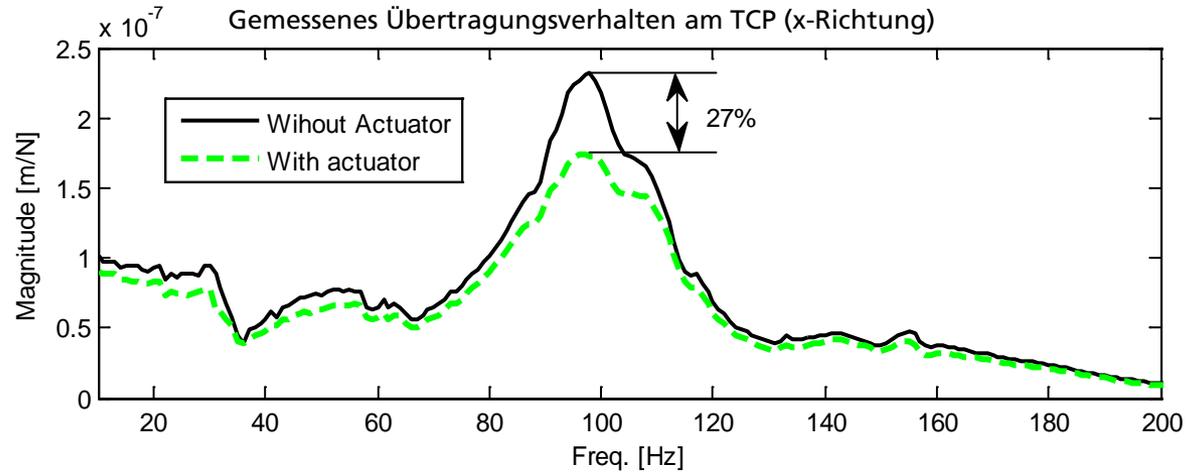
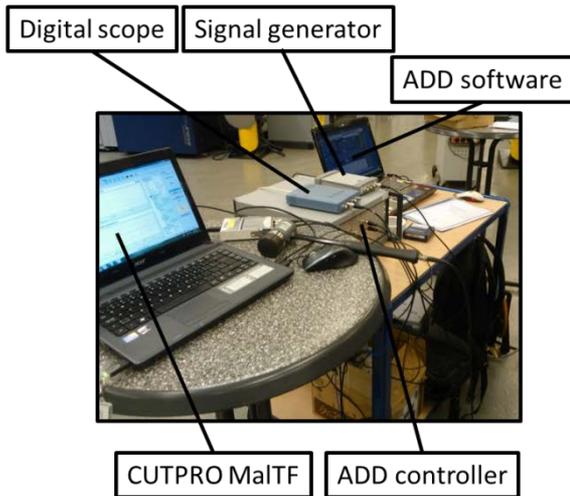
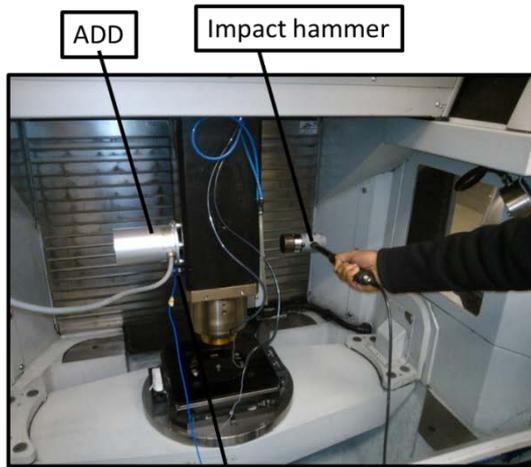


Erhöhte dynamische Stabilität



Erhöhte Produktivität

Experimentelle Validierung

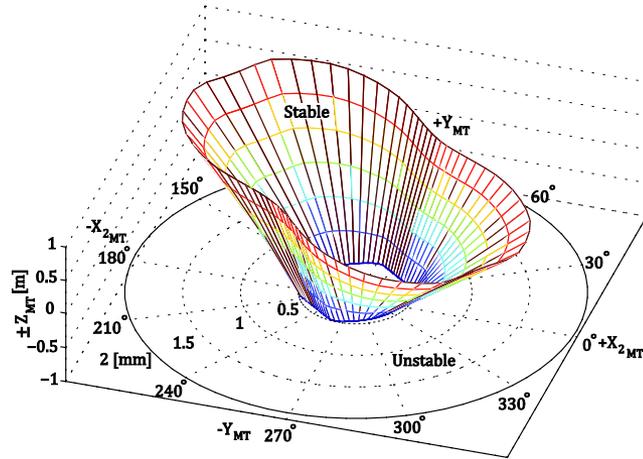


Zusammenfassung

- Rattern begrenzt signifikant Produktivität und Oberflächenqualität
- Verschiedene Möglichkeiten zur Beeinflussung der Prozessstabilität bekannt
- Lösungsansatz ist abhängig vom konkreter Einsatzszenario
- Analysen von realen Einsatzbedingungen notwendig
- Systematische simulationsgestützte Auslegung und Systemintegration sinnvoll
- Signifikante Verbesserungen mit aktiven Systemen erzielbar (100% und mehr, abhängig von konkreter Anwendung)

Aktive Dämpfung ist keine „Reparaturlösung“, sondern kann gezielt Grundfunktionalitäten verbessern oder substituieren.

Das Fraunhofer IWU bietet Unterstützung in allen Phasen der Entwicklung und des Betriebs von Werkzeugmaschinen.



Vielen Dank!

Ansprechpartner

Markus Wabner

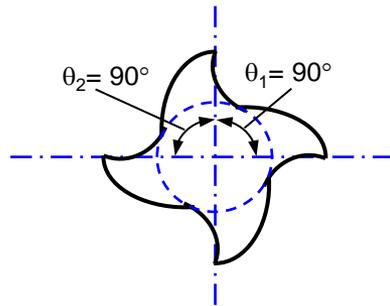
Gruppenleiter Spanende WZM

Markus.wabner@iwu.fraunhofer.de

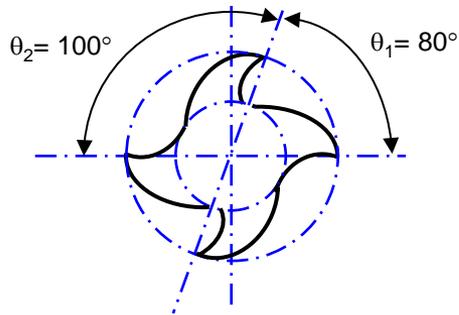
+49 371 5397-1458

Variable pitch and/or helix for high performance

Variable Pitch

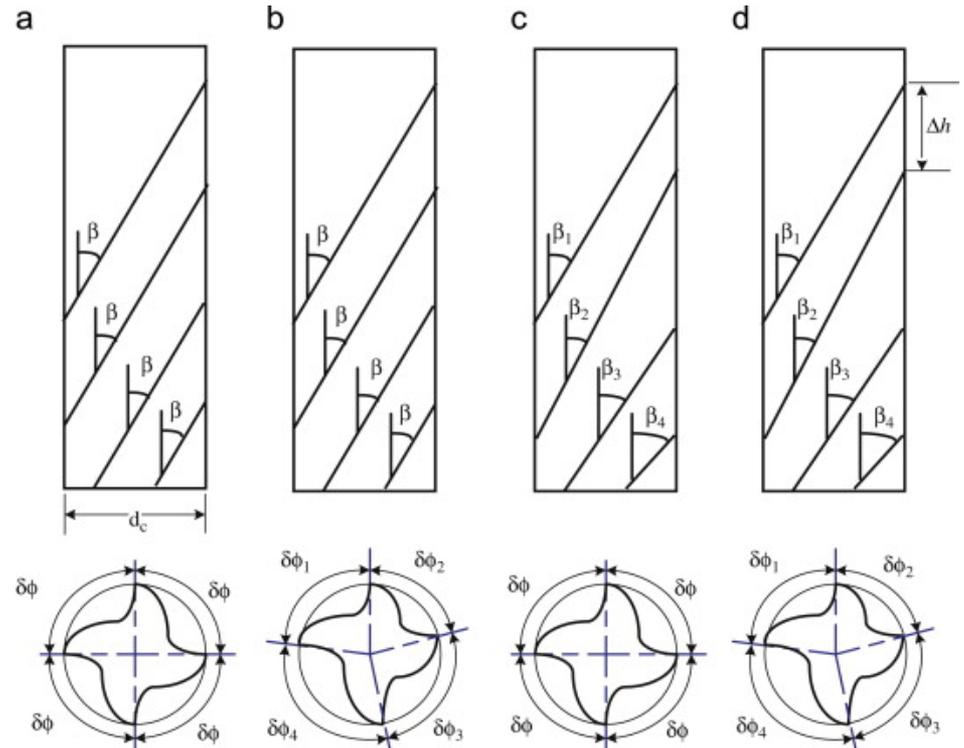


Uniform Pitch end mill



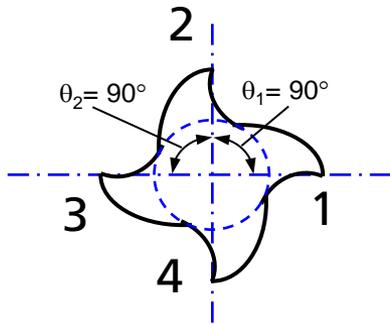
Variable Pitch end mill

Variable Helix

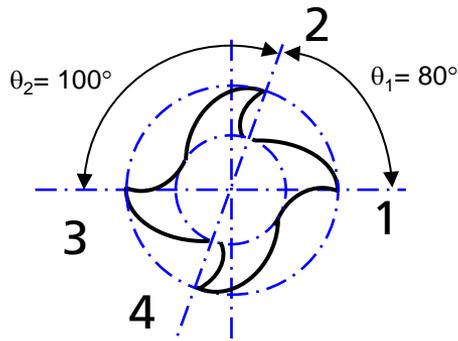


Variable pitch for high performance

Variable Pitch



Uniform Pitch end mill



Variable Pitch end mill

