

Zustandsüberwachung mittels Kurzzeit-Spektralanalyse an CNC-Fräsmaschinen

Marc Hohmann
Katrin Baumann

1. Kurzzeit-Spektralanalyse (STFT)

Vorgehen:

- Aufnahme von Beschleunigungs- oder anderen Schwingungssignalen mit Abtastrate f_s
- abschnittsweise Frequenzanalyse gleich langer Signalabschnitte der Dauer T mit N Messpunkten
- farbcodierte Darstellung der frequenzabhängigen Amplituden spaltenweise je Signalabschnitt

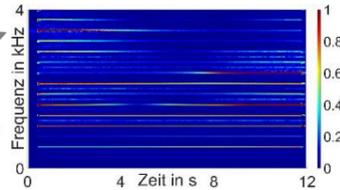
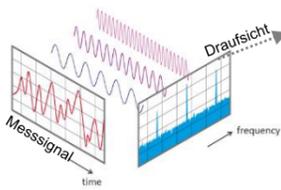


Abbildung 1: Zeit- und Frequenzdarstellung einer STFT

<https://www.st-audio.com/de/service/wissen/fast-fourier-transformation-ff/>

Kenngrößen:

- Frequenzauflösung: $\Delta f = \frac{f_s}{N}$
- Zeitauflösung: $\Delta t = \frac{N}{f_s}$

Vorteile / Nachteile:

- + zeitliche Zuordenbarkeit verschiedener Ereignisse
- konkurrierende Ziele von guter Zeit- und Frequenzauflösung aufgrund gleicher Länge aller Signalabschnitte, insbesondere bei instationären Vorgängen

2. Messaufbau und -umfang



Abbildung 1: Messaufbau mit verwendeten Werkzeugen und Werkzeugaufnahmen

Tabelle 1: Werkzeugaufnahmen und Schnittparameter

Pos.	Typ	Eigenschaften	Parameter	Min.	Max.
links	Spannzangenfutter	- kurz - stabil	Schnittbreite in mm Drehzahl in 1/min	2 4.000	4 8.000 12.000
rechts	Weldonfutter	- lang - stabil	Vorschub in mm/Zahn	0,025 0,050	0,090

Tabelle 2: Verwendete Sensorik und Messeinstellungen

Sensoren	Typ	Fixierung	Abtastrate f_s	Abschnittlänge N
Spindel	PCB 352C33	Geschraubt	10.240 Hz	1.024
Werkstück	PCB 356A16	Geschraubt		
Tisch	PCB 356A16	Wachs		

3. Ergebnisse

3.1 Referenzmessung

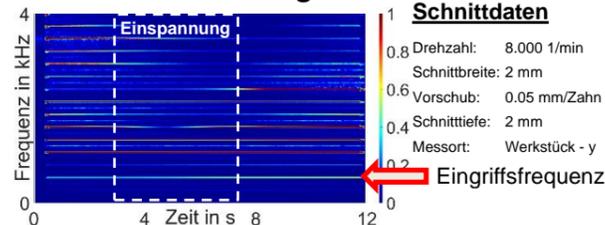


Abbildung 4: Neues Werkzeug in y am Werkstück

- Schneiden-Eingriffsfrequenz bei 533 Hz
- Abschwächung der Amplituden in der Einspannung (weißer Rahmen)

3.2 Werkzeugabnutungsgrad

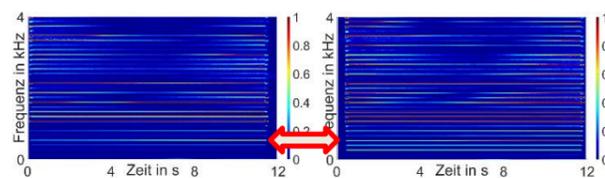


Abbildung 5: Gebrauchtes Werkzeug (links) und defektes Werkzeug (rechts) bei Messung mit Referenzparametern

- Zunahme der Intensität der Schneiden-Eingriffsfrequenz
- mehr stark angeregte Frequenzen

3.3 Messposition

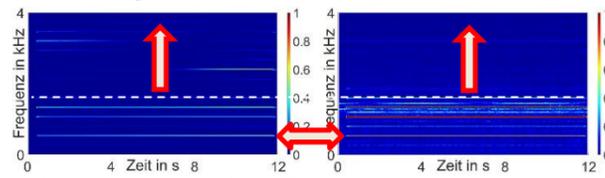


Abbildung 6: Neues Werkzeug in y an Tisch (links) und Spindel (rechts)

- Schwingungen ab der 3. Ordnung abgeschwächt
- Amplitude des Eingriffs an der Spindel verstärkt
 - Intensitätsverlauf nicht erkennbar
- Eingriffsfrequenz am Tisch mit geringerer Amplitude
 - Hypothese: Dämpfung der Schwingungsamplituden durch die Fixierung mit Wachs

3.4 Schnittparameter

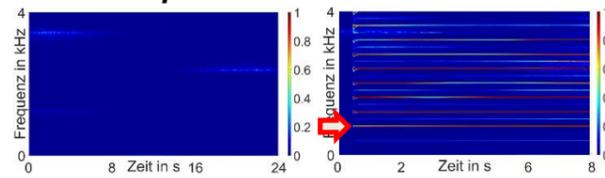


Abbildung 7: Neues Werkzeug bei 4.000 1/min (links) und 12.000 1/min (rechts)

- Intensität proportional zur Drehzahl, bei gewählter Farbskalierung keine Anregung bei 4.000 1/min sichtbar
- Frequenzordnungen abhängig von Anregungsfrequenz

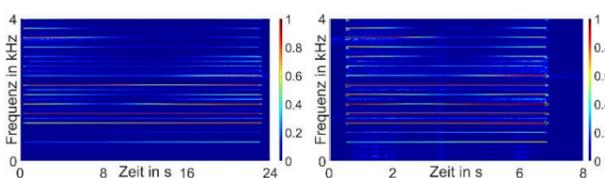


Abbildung 8: Neues Werkzeug bei 0,025 mm/Zahn (links) und 0,09 mm/Zahn (rechts)

- Zunehmende Intensität mit steigendem Vorschub
- Im Vergleich geringerer Einfluss

Schnittbreitenvergleiche liefern kein aussagekräftiges Bild

3.5 Werkzeugaufnahmen

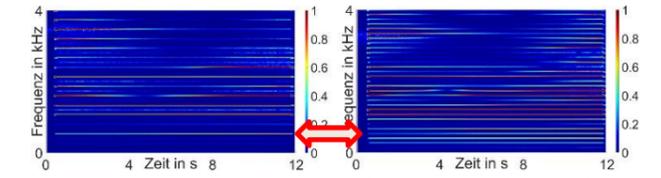


Abbildung 9: Neues Werkzeug lange (links) und kurze (rechts) Werkzeugaufnahme

- vergleichbare Frequenzamplituden
- Anregung weiterer Ordnungen bei kurzer Aufnahme
- Anzahl angeregte Ordnungen vergleichbar mit defektem Werkzeug an langer Aufnahme (Abbildung 5, rechts)
- kurze Aufnahme hat eine niedrigere Amplitude der Eingriffsfrequenz im Vergleich zu dem defekten Werkzeug

3.6 Ausgebrochene Schneide

- Schneiden-Eingriffsfrequenz 267 Hz \rightarrow alle 3,75 ms
- keine Abbildbarkeit bei $f_s = 10.240$ Hz $\rightarrow \Delta t = 100$ ms
- Versuch der Abbildbarkeit mittels linearer Interpolation
 - mit $\Delta t_{int} = 1$ ms

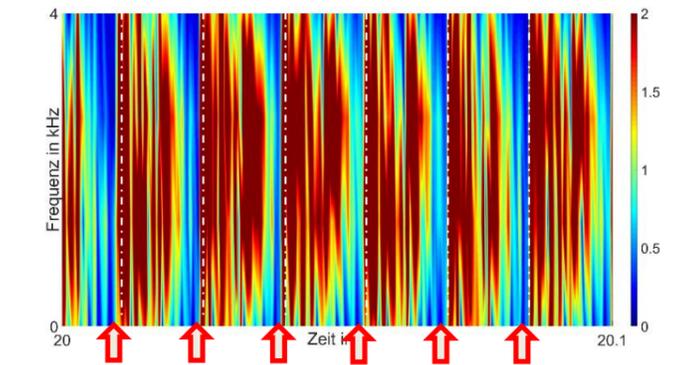


Abbildung 10: Interpolation defektes Werkzeug

- weiß gestrichelte Linien als Eingriff des 1. Zahns in Abbildung 10 dargestellt
- links neben den Linien ist eine niedrigere Anregungsamplitude mit vertikalen Pfeilen markiert
 - periodisch fehlende Anregung (4. Zahn) erkennbar
 - Hypothese: Keine Anregung durch defekten Zahn

- ein ähnliches Bild mit un stetigen Anregungsamplituden konnte bei Messungen mit neuem / gebrauchtem Werkzeug festgestellt werden
 - Verdacht auf Unwucht

4. Fazit

4.1 Ergebnisse

- Zustandsüberwachung beim Stirnfräsen ist möglich
- verschiedene Faktoren müssen berücksichtigt werden
- Schnittparameter
- Werkzeugaufnahmen
- defekte Schneide wird nicht sicher erkannt

4.2 Ausblick

- Betrachtung der Interpolation mit Verdrehung des Fräasers
- Zustandsüberwachung über Lebensdauer
- Untersuchen der Werkstückqualität (Toleranz / Rauhtiefe)
- steifere, weniger stark gedämpfte Verbindung des Sensors zum Tisch wünschenswert

h_da

HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
im²s
INSTITUT FÜR MECHANISCHE UND
MECHATRONISCHE SYSTEME

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Katrin Baumann
Institut für mechanische und mechatronische Systeme IM²S
Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik
Hochschule Darmstadt, Schöfferstraße 3, 64295 Darmstadt
E-Mail: katrin.baumann@h-da.de

Projektpartner

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marina Dervisopoulos
Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik
Hochschule Darmstadt, Schöfferstraße 3, 64295 Darmstadt
E-Mail: marina.dervisopoulos@h-da.de