



Maschinenfabrik Heid AG

Messungen an Heid Drehzentrum CT9

Messbericht



Institut für
Fertigungstechnik
Labor für Produktionstechnik

Von: C. Einspieler, F. Bleicher
Datum: 02.01.2008

Betrifft: Vorvermessung des Heid Zentralspindeldrehzentrums CT9

Anwesende: HEID: Hr. Eigner, Hr. Holy ; IFT: Hr. Bleicher, Hr. Einspieler
Ort/Datum: Fa. Werkzeugmaschinenbau Ziegenhain GmbH (WMZ)/ 20.12.2007, 10:00-19:00

1 Einleitung

Die Fa. WMZ fertigt in Lizenz der Fa. Heid Drehzentren. Das hier betrachtete Drehzentrum stellt Muffen für die Verbindung von Bohrgestängen her. Zu diesem Zwecke wird das rohrförmige Werkstück im Mittenantriebsfutter gespannt, innen beidseitig parallel ausgedreht und anschließend beidseitig ein konisches Gewinde geschnitten. Die Be- und Entladung des Werkstückes erfolgt automatisch. In der mechanischen Bearbeitung treten dynamische Probleme auf. Das Oberflächenbild der bearbeiteten Flächen zeigt Rattermarken. Durch eine messtechnische Analyse am Zentralspindeldrehzentrum CT9 soll nun auf deren Ursache geschlossen werden. Die Maschine ist in **Abbildung 1** abgebildet, Achsbezeichnungen sowie die Nomenklatur ist in **Abbildung 2** zu ersehen.



Abbildung 1: Muffendrezentrum CT9

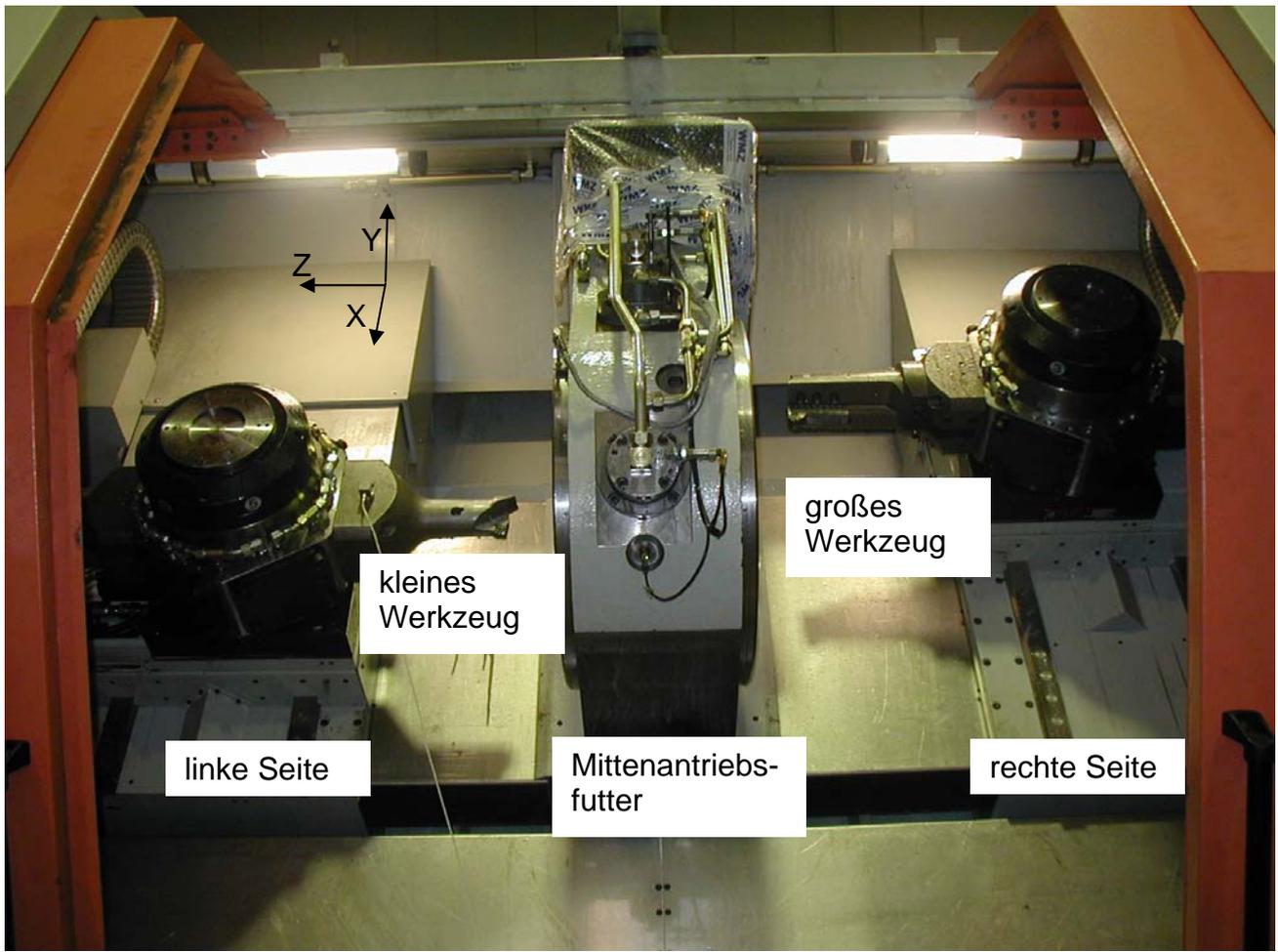


Abbildung 2: CT9, Achsbezeichnung, Nomenklatur

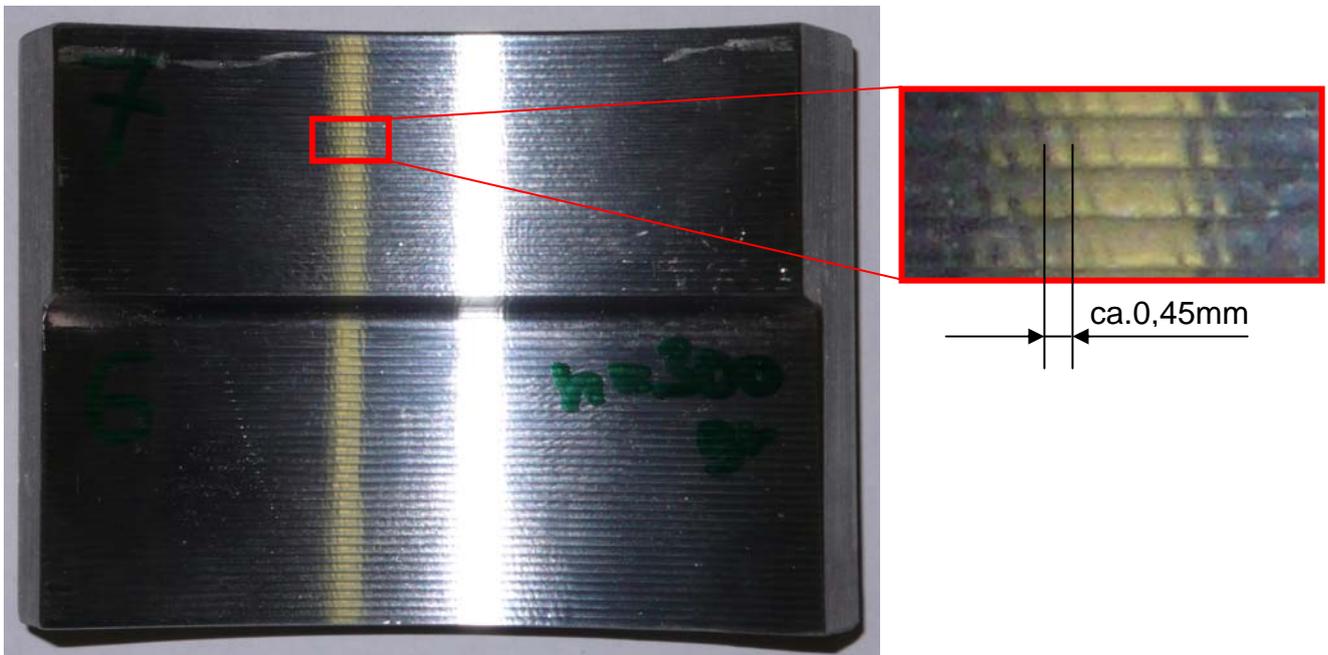


Abbildung 3: Werkstück mit Rattermarken

2 Equipment

Nr.	Beschreibung	Hersteller	Type
1	Beschleunigungsaufnehmer 1-Achs	Kistler	1x 8141A111
2	Beschleunigungsaufnehmer 1-Achs	RION Co. LTD	1x 602A02
3	Kraftaufnehmer für Anregungshammer	Kistler	1x SN5815
4	Piezotronkuppler	NI	4x NI SCXI-1530
5	DMS-Verstärker	NI	8x NI SCXI-1520
6	Kraftaufnehmer	HBM	U2B-10kN
7	Trägerverstärker	HBM	Spider 8
8	Induktive Messtaster 1 μ m	TESA	2x 032 10924
9	PCMCIA Messkarte	NI	1x DAQCard-6062E
10	USB Messkarte	NI	1x 6009
11	Messsoftware	NI	LabVIEW 7.2

3 Messaufbau und Durchführung

Da das beanstandete Oberflächenmuster wie in Abbildung 3 dargestellt ca. 0,45mm Abstand beträgt, kann man mit der Drehzahl $F=300$ U/min sowie dem Bearbeitungsdurchmesser ca. $D=170$ mm eine Schwingfrequenz von ca. $f=5,9$ kHz herausrechnen. In einer kurzen Überblicksmessung im Schnitt konnten Eigenfrequenzen in hohen Frequenzbereichen nachgewiesen werden (3,75kHz, 4,5kHz, 5kHz).

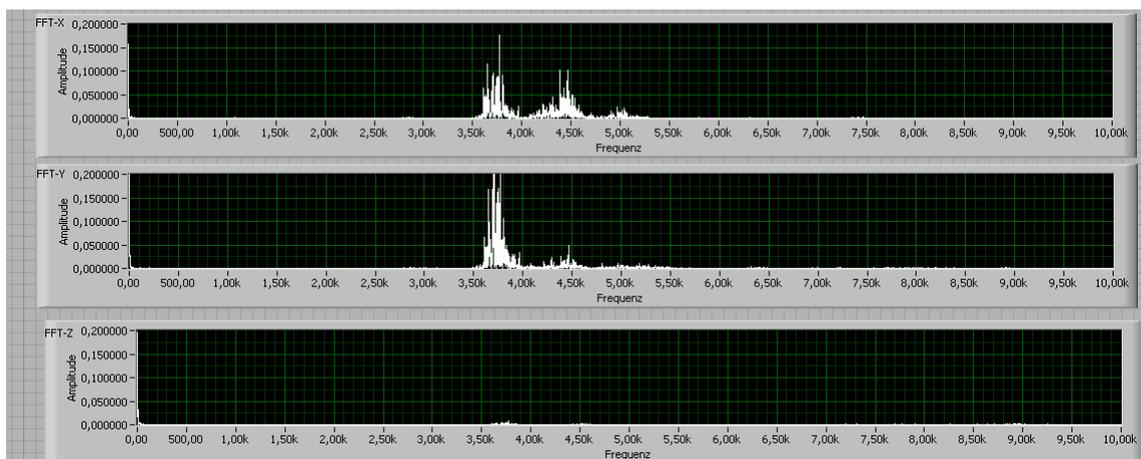


Abbildung 4: Schwingungsspektrum während der Bearbeitung, rechte Seite, Wandstärke ca. 20mm, kleines Werkzeug $n=300$ U/min, $f=0,8$ mm/U, $a_p=4$ mm, Sensor am WZ-Revolver

Diese Frequenzen sind für Schwingungen an Werkzeugmaschinenstrukturen als sehr hoch einzustufen. Zumal sämtliche Schwingungen, welche an der Maschine auftreten, für die Oberflächenstrukturierung verantwortlich zeichnen, ist die Oberflächenstruktur nicht nur einer Frequenz zuzuschreiben. Es handelt sich viel mehr um ein Interferenzmuster (Bild einer Schwingung mit ca. 5,9kHz).

Weiters ist die auftretende Schwingungsamplitude mit ca. 1 μ m sehr klein, woraus geschlossen werden kann, dass die einzelnen, einfließenden Frequenzen eher hochfrequent ausgeprägt sein müssen. Es ist nicht von einer dominierenden Grundschwingung der Maschinenstruktur in Frequenzbereichen bis ca. 200Hz auszugehen. Diese hochfrequenten Schwingungen können aufgrund ihrer Natur nur in schwingfähigen Teilsystemen mit verhältnismäßig kleiner Masse und hoher wirkender Steifigkeit auftreten.

Entsprechend dem Ergebnis der Einzelmessung im Schnitt und den obigen Überlegungen wurde der Schwerpunkt der Messungen ausgerichtet.

3.1 Eigenfrequenz Werkzeug

Um die Eigenfrequenz des Werkzeughalters zu bestimmen, wurde ein Ersatzhalter frei aufgehängt und angeregt.



Abbildung 5: Eigenfrequenzbestimmung des kleinen Werkzeughalters

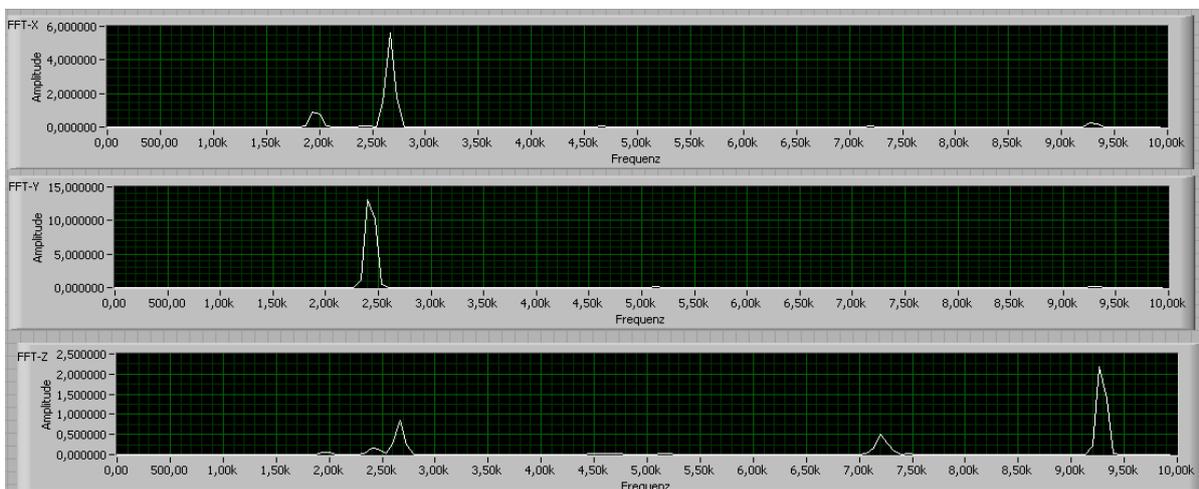


Abbildung 6: Spektrum der Eigenfrequenz (EF) des kleinen Werkzeughalters, Erregung in Z, Koordinatensystem: Maschinenkoordinatensystem (MKS)

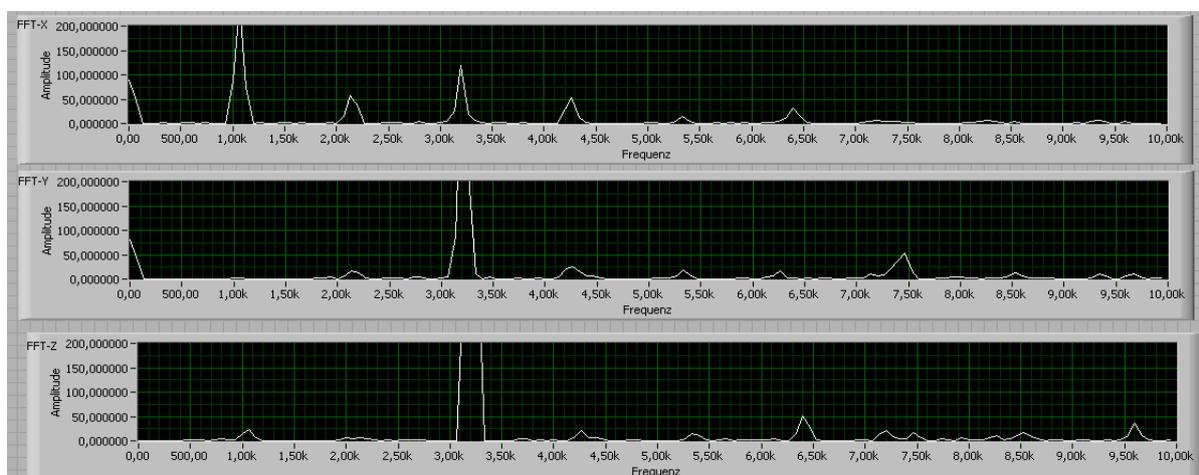


Abbildung 7: Spektrum der Eigenfrequenz des großen Werkzeughalters, Erregung in Z, Koordinatensystem: MKS X=Z, MKS Y=Y, MKS Z=X

3.2 Eigenfrequenz Werkstück

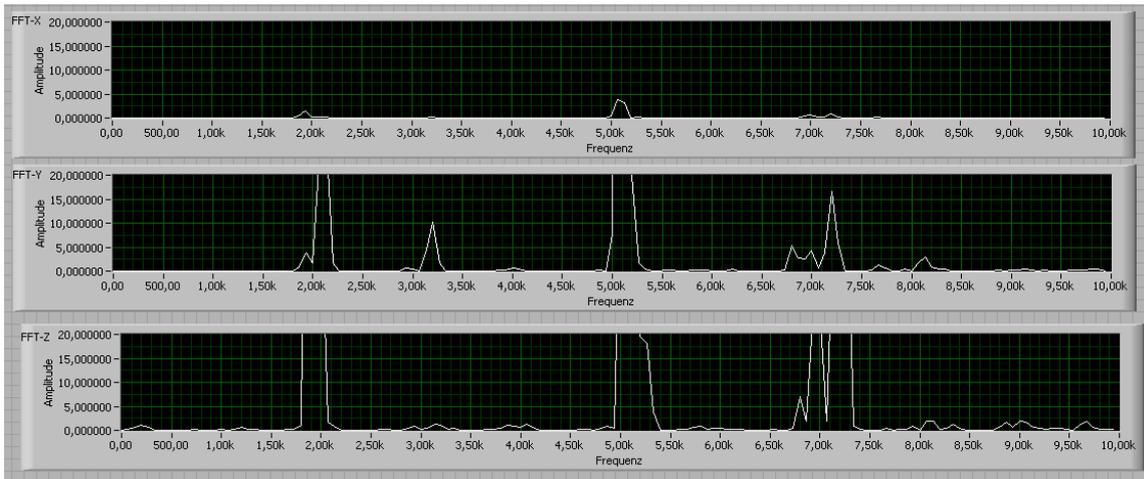


Abbildung 8: EF Werkstück, Wandstärke 9mm, Erregung in Z, Koordinatensystem: MKS

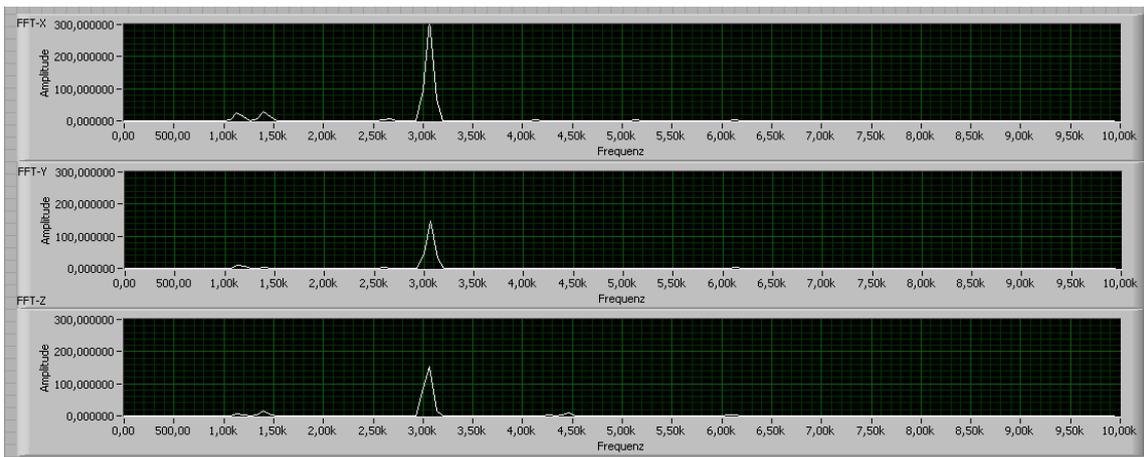


Abbildung 9: EF Werkstück, Wandstärke 24mm, Erregung in Z, Koordinatensystem: MKS

3.3 Eigenfrequenzen des eingespannten Werkstückes

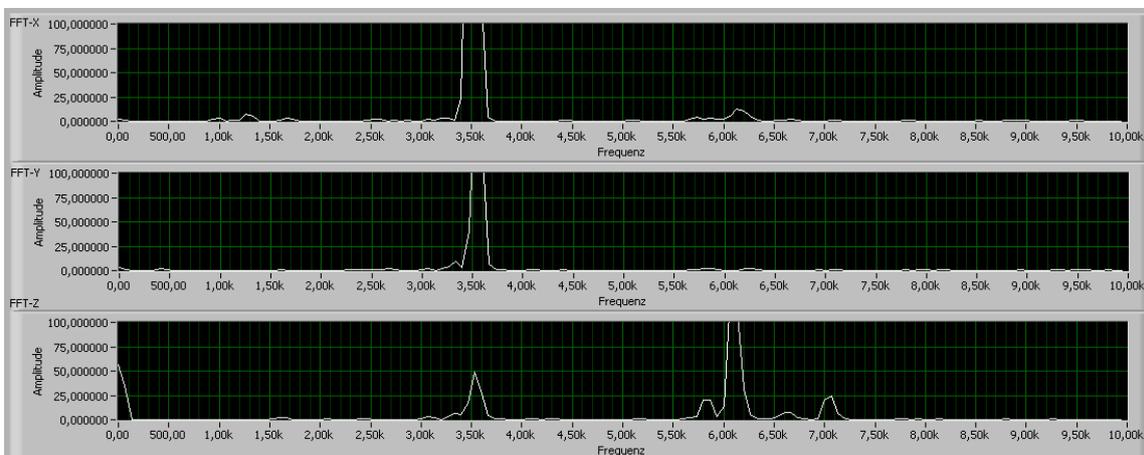


Abbildung 10: EF, dünnwandiges Werkstück eingespannt, Sensor auf Werkstück bei langer Backe; MKS, Anregung in +X

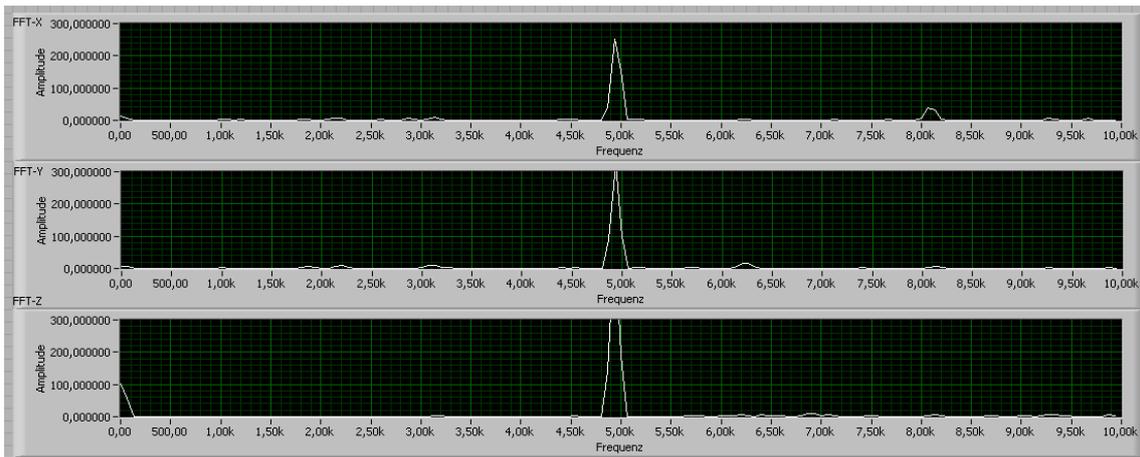


Abbildung 11: EF, dickwandiges Werkstück eingespannt, Sensor auf Werkstück bei langer Backe; MKS, Anregung in +X

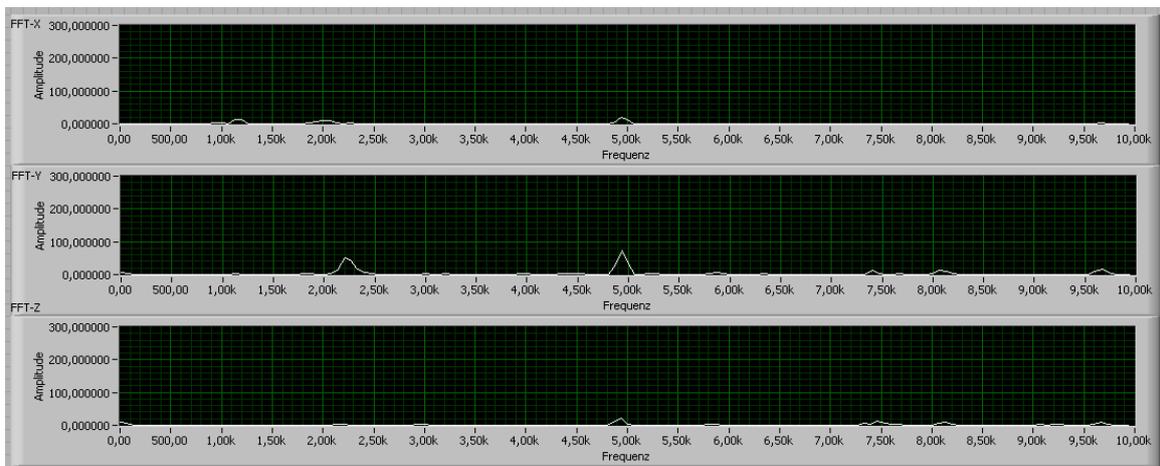


Abbildung 12: EF, dickwandiges Werkstück eingespannt, Sensor auf Werkstück bei kurzer Backe; MKS, Anregung in +X

3.4 Eigenfrequenzen des eingespannten Werkzeuges

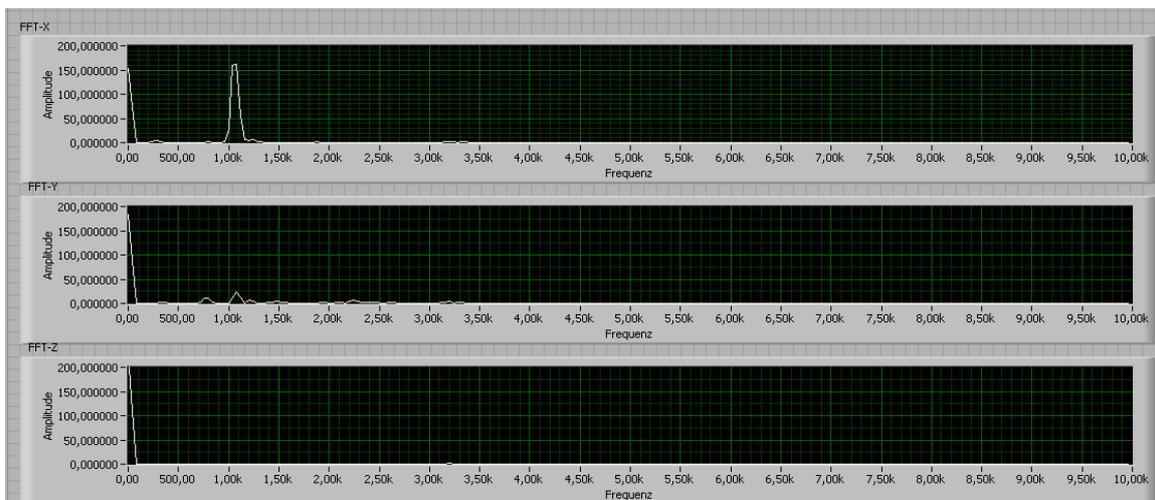


Abbildung 13: EF, großes Werkzeug eingespannt, Sensor auf Werkzeug; MKS, Anregung in +X MKS



Abbildung 14: EF, kleines Werkzeug eingespannt, Sensor auf Werkzeug; X MKS=Y, Y MKS=-X, Anregung in +X MKS

4 Auswertung

Aufgrund der hohen Frequenzen, welche für die negative Oberflächenstruktur an den Werkstücken verantwortlich zeichnen, wurde sehr nahe an der Bearbeitungsstelle gemessen.

Die Frequenzen zeigen ein stark unterschiedliches Verhalten an der Werkzeug- wie auch an der Werkstückseite. Dies betrifft nicht die Stärke der Signale, sondern vielmehr die angeregten Frequenzbänder. Bei der Eigenfrequenzanalyse der Werkzeuge (Kapitel 3.1) konnten beim kleinen Werkzeug 2,5 kHz und 9,25 kHz und beim großen Werkzeug 1kHz und 3,25 kHz gemessen werden. Diese Frequenzen konnten bei der Bearbeitung in unterschiedlicher Ausprägung praktisch immer detektiert werden.

Die Eigenfrequenzen der Werkstücke sind stark wandstärkenabhängig, wie unter Kapitel 3.2 gezeigt wurde. Um die Eigenform dieser dominierenden Werkstückschwingungen zu ermitteln, wurde eine FEM-Simulation durchgeführt. Es zeigt sich eine ausprägt „kleeblattförmige“ Schwingform, welche in Abbildung 15 dargestellt ist.

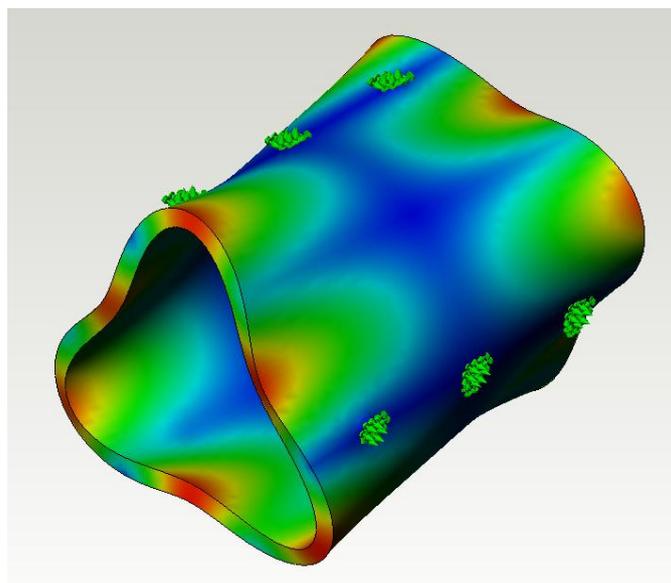


Abbildung 15: Eigenform des Werkstückes

In Abbildung 16 und 17 ist das Frequenzspektrum der Bearbeitung (linker Schlitten) mit dem kleinen Werkzeug bei unterschiedlichen Wandstärken dargestellt. Bei Zusammentreffen mehrerer Eigenfrequenzen, d.h. von Eigenfrequenzen des Werkstücks und des Werkzeuges, ist eine starke Überhöhung zu erkennen (siehe Skalierung in Abb. 16 und Abb. 17).

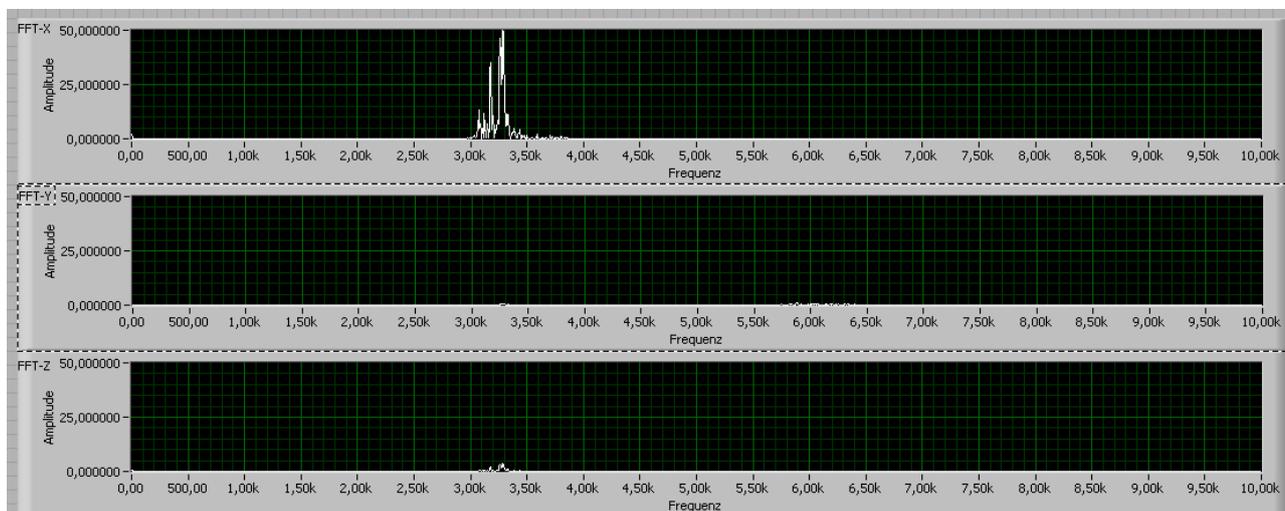


Abbildung 16: Bearbeiten linke Seite, Wandstärke 24mm, kleines Werkzeug $n=300U/min$, $f=0,8mm/U$, $a_p=4mm$

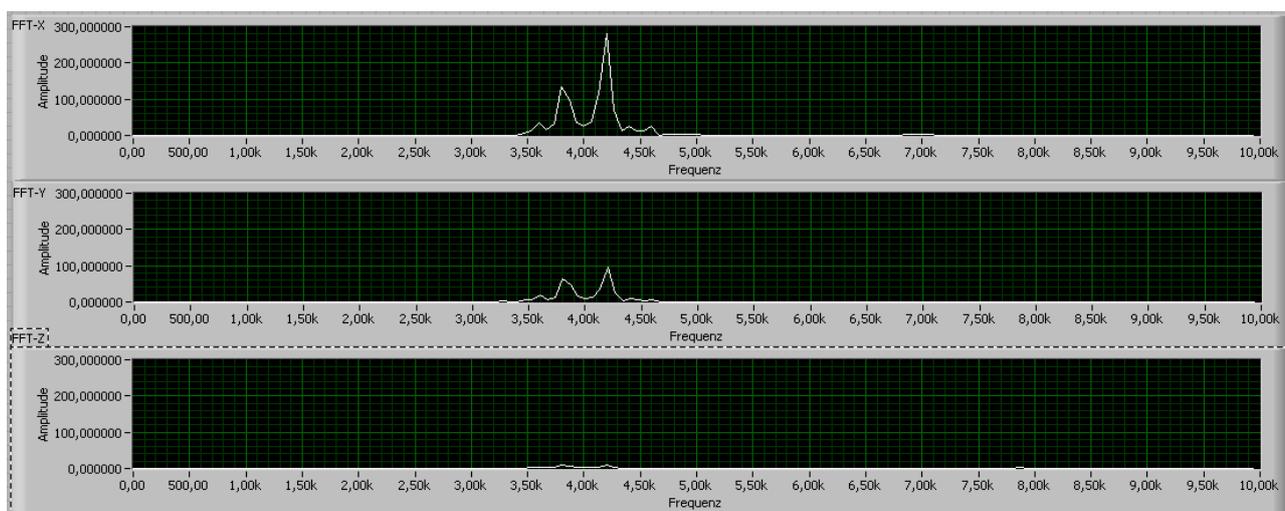


Abbildung 17: Bearbeiten linke Seite kleines Werkzeug, Wandstärke 15mm, 300U/min, 0,8mm/U, 4mm

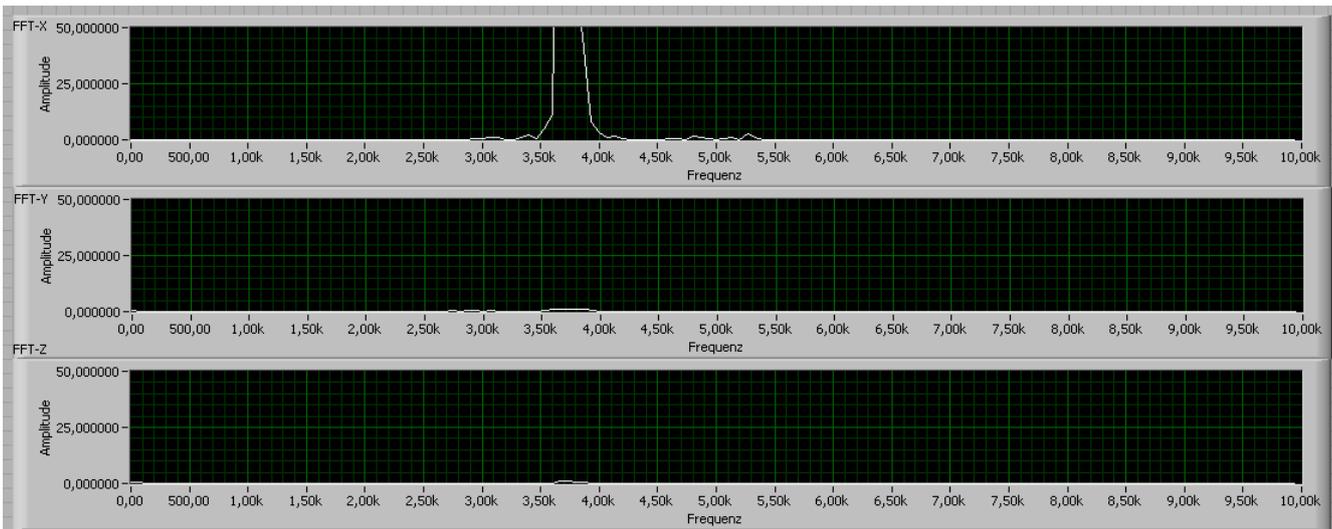


Abbildung 18: Bearbeiten rechte Seite großes Werkzeug, Wandstärke 15mm 300U/min, 0,8mm/U, 4mm

Bei Entkopplung des Werkstückes von den Spannbacken durch Einlegen von Gummipplatten konnten die Werkstückeigenfrequenzen nur mehr schwach gemessen werden. Die Oberfläche der Werkstücke ist jedoch erheblich schlechter. Dies lässt sich auf eine Dämpfung des Werkstückes durch die direkte Auflage auf den Spannbacken zurückführen. Durch die weichere Einspannung werden zwar geringere Beschleunigungswerte am Sensor gemessen, es treten jedoch am Werkstück größere, erzwungene Schwingwege auf (Einfluss auf die Oberflächengüte).

Weitere maßgebende Frequenzen konnten beim Anregen einzelner Teile des Mittelantriebsfutters, wie in Abbildung 19 dargestellt, detektiert werden.

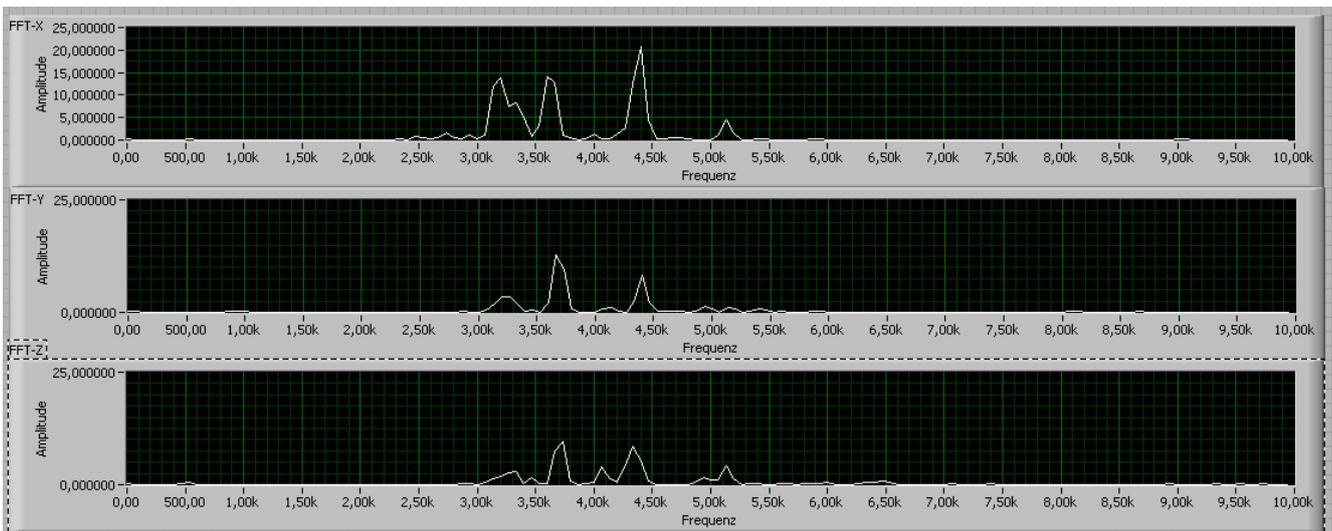


Abbildung 19: Sensor auf Werkstück, Anregung an Abdeckring rechts, dünnwandiges Werkstück

5 Zusammenfassung

Zur Analyse der Bearbeitung an einem HEID Zentralspindeldrehzentrum CT9 wurden Messungen zur Erfassung des dynamischen Verhaltens durchgeführt. Im Vorfeld der Messungen konnte aus Oberflächenanalysen an Testwerkstücken eine hohe Frequenz bei kleiner Amplitude von ca. $1\mu\text{m}$ detektiert werden. Tatsächlich zeigen Schwingungsmessungen im Bearbeitungsbetrieb, dass an der Maschine offensichtlich nicht Strukturschwingungen für die Oberflächenwelligkeit verantwortlich zeichnen. Es konnten keine signifikanten Schwingungen im Bereich von ca. 15Hz bis 250Hz festgestellt werden. Auch würden bei derartigen Schwingungen größere Amplituden auftreten.

Als ursächliches Problem für die Oberflächenbeeinträchtigung erscheint ein Zusammenspiel mehrerer signifikanter Eigenfrequenzen im hohen Frequenzbereich verantwortlich. Die Welligkeit am Werkstück ist als ein Interferenzmuster, also eine Überlagerung von mehreren Schwingungen, einzustufen, wobei in den Versuchen durchaus unterschiedliche Frequenzkonstellationen, d.h. ausgeprägte Amplituden bei etwas unterschiedlichen Frequenzbändern im hohen Frequenzbereich, festgestellt werden. Das Oberflächenbild sieht zwar immer ähnlich aus, die ursächlichen Schwingungen sind jedoch jeweils deutlich unterschiedlich (auch Einfluss der Werkstückwandstärke und -masse, Schnittposition, usw.). Im Wellenmuster und damit durch eine Welligkeitsbestimmung mit einem Tastschnittmessgerät können diese Unterschiede nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Durch Messung der Einzelkomponenten Werkzeug und Werkstück konnten Eigenfrequenzen in den gesuchten Frequenzbereichen festgestellt werden (ca. 2,5kHz, 3,2kHz, 3,75kHz (stark), 4,5kHz, 5kHz und 6,5kHz bis 7kHz). Beim Werkstück handelt es sich um Formschwingungen ähnlich einer Glocke, am Werkzeug sind Biegeschwingungen in der ersten und zweiten Ordnung dominierend. Das gespannte Werkstück zeigt ebenfalls ausgeprägte Schwingungen in hohen Frequenzbereichen. Der Schwinganfälligkeit des Werkstückes steht eine nur mäßige Dämpfung der Spannelemente entgegen. Ein sekundäres Anregen diverser weiterer Komponenten sowohl des Mittenantriebsfutters als auch der Werkzeugeite können diesen Effekt erheblich verstärken. So wird offensichtlich auch der Ring der Labyrinthdichtung mit einer ausgeprägten Eigenfrequenz von ca. 3,5kHz bis 3,75kHz angeregt (siehe Messergebnisse oben).

Ein Vergleich der Bearbeitungsergebnisse an der Maschine HEID CT9 zu jenen an einem Referenzversuch an einer Drehmaschine Max Müller zeigen keine wesentlichen Unterschiede. Der subjektive Eindruck zeigt von deutlich größeren Schwingungseffekten in diesem Referenzversuch. In den Referenzversuchen wurde ein eher schlankes Werkzeug mit geringerer Biegesteifigkeit eingesetzt. Dieses Ergebnis, welches im Gegensatz zu ersten Vorinformationen steht, bestätigt tendenziell die Resultate der obigen messtechnischen Untersuchung.

Als Abhilfemaßnahmen sind Lösungen anzustreben, welche zu einer Dämpfung im System führen. Die bereits getätigten Umbaumaßnahmen, wie z.B. der Kupplungsumbau am KGT und Änderungen am Führungssystem, zeigen positive Auswirkungen. Zusätzliche Maßnahmen sollten sein:

- Bedämpfung im Werkzeughalter
- Bedämpfung des Werkzeugrevolvers durch Beilegen von Dämpfungsmatte
- Stabilisierung der Werkstückaufnahme durch Einsatz von langen Backen, wobei jede Backe drei Grip-Elemente (links, rechts, mittig) aufweisen sollte
- Demontage oder dynamische Verstimmung der Abdeckscheiben (Labyrinth)

Jede Maßnahme sollte einzeln umgesetzt und der jeweilige Erfolg direkt analysiert werden. Ergänzend zu den bisherigen Versuchen sollten Bearbeitungen bis zur Werkstückmitte durchgeführt werden. Hier sollten Biegeschwingungen etc. durch die Position direkt auf den Spannelementen eher hintan gehalten werden.

Ergänzend wäre ein Versuch aussagekräftig, in welchem es zu einer stetigen Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit kommt. Dabei sollte bei sehr geringen Drehzahlen begonnen und bis zu einer Drehzahl von ca. 500U/min gefahren werden. Es wäre zu ermitteln, ab welcher Drehzahl die Oberflächenfehler auftreten. Damit könnte eine Aussage zur erforderlichen Schwingenergie gemacht werden, um die störenden Effekte anzuregen.