

Schwingungen an Werkzeugmaschinen mittels Hochgeschwindigkeitskamera messen

Optische Schwingungsanalyse

Bisher wurde die Schwingungsanalyse an Werkzeugmaschinen mittels Modalanalyse vollzogen. Wenn nur die Gesamt-Eigenfrequenz und die Amplituden in drei Raumrichtungen interessieren, bietet sich der Einsatz von HG-Kameras an.



1 Versuchsaufbau, Highspeedkamera und LED-Strahler

VON MATTHIAS VOGEL UND
MARC KALTENBRUNNER

→ Schwingungsanalysen an Werkzeugmaschinen werden üblicherweise in Form einer Modalanalyse durchgeführt. Hierzu werden möglichst dreiaxiale Beschleunigungsaufnehmer an all jenen Stellen in der Maschine angebracht, wo die Schwingungen nach Frequenz, Amplitude und Phasenverschiebung von Interesse sind. Die Anregung geschieht mittels Impulshammer, sprich mit einem Hammer mit eingebautem Beschleunigungsaufnehmer.

Alternativ dazu ist es möglich, aus den Knotenpunkten quasi ein ›Stabmodell‹ der Maschine aufzubauen und anschließend mit beispielsweise tausendfacher Amplitude die gesamte Werkzeugmaschine schwingen zu sehen. So etwas ist, wenn überhaupt, nur mit sehr vielen Hochgeschwindig-

keitskameras gleichzeitig möglich und aus jetziger Sicht sicher unwirtschaftlicher als eine herkömmliche Modalanalyse. Wenn jedoch nur die Gesamt-Eigenfrequenz und die Amplituden in allen drei Raumrichtungen ermittelt werden sollen und die Anregung durch ein Frequenzband erfolgen soll, dann ist eine Schwingungsanalyse mithilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera hochinteressant.

Messaufbau, Voraussetzungen

Bei der Schwingungsmessung mittels einer HG-Kamera handelt es sich um ein be-

rührungsloses Verfahren. Die Idee dahinter ist, dass man einen Punkt auf der Maschinenoberfläche filmt und über ein Messprogramm die Bewegung dieses Punktes analysiert. Um eine gesamte Modal- und Bewegungsanalyse des Systems zu bekommen, muss man mehrere Punkte des Testobjekts aufnehmen. Dies kann aber auf einfachste Weise erfolgen, indem man mehrere Kameras positioniert. Der apparative Aufwand ist im Vergleich zur Modalanalyse verhältnismäßig gering. Man benötigt eine HG-Kamera mit einem Mikroskop-Objektiv, um auch kleinste Schwingungen zu erfassen.

Um eine Eigenfrequenzanalyse mit Ergebnissen wie bei der Modalanalyse durchzuführen, braucht man zusätzlich einen Impulshammer und eine Software wie zum Beispiel Labview, die dann ein Trigger-Signal zum Start der Kamera ausgibt. Da der Versuch vorwiegend dazu diente, fest-



i INSTITUT

DHBW Stuttgart Campus Horb

72160 Horb

Tel: +49 7451 521-234

Fax +49 7451 521-139

→ www.dhbw-stuttgart.de/horb

» zustellen, ob sich die minimalen Schwingungen optisch erfassen lassen, standen diese Hilfsmittel nicht zur Verfügung. Unverzichtbar hingegen ist eine Software (WINalyze), die aus den AVI-Dateien über das Tracking eines Punktes Kurven generiert, die dann wiederum mittels Fouriertransformation (beispielsweise mittels Matlab) analysiert werden können, um Eigenfrequenzen samt Amplituden zu ermitteln. Die zwangsläufig erforderlichen hohen Bildraten werden durch Verkleinerung des Bildausschnitts erzeugt. Im Versuch betrug der Bildausschnitt 240×240 Pixel. Je höher die Bildrate (fps) wird, desto höher werden die Ansprüche an die Beleuchtung. Man benötigt eine äußerst helle Lichtquelle, um ausreichend Helligkeit für die sehr kurze Belichtungsdauer zu erhalten.

Versuchsaufbau und -ablauf

Da kein Impulshammer zur Verfügung stand, wurde die Erregung durch die Hauptspindel selbst erzeugt. Im vorliegenden Fall wurde ein Messdorn als Werkzeug benutzt. Um eine größere Unwucht auszulösen, wurde für einige Versuche schlicht eine Schlauchschelle angebracht.

Die Messungen sollen den Drehzahlbereich der Maschine durchlaufen. Wichtig ist, dass die Schwingung deutlich aufgezeichnet wird. Sollte die Schwingung schlecht erkannt werden, kann durch das Einspannen eines Messdorns mit einer Unwucht eine deutlichere Schwingung erzeugt werden. Statt des Dorns kann natür-

lich auch ein reales Werkzeug gewählt werden. Jede Messung nimmt circa fünf Minuten Aufnahme- und Verarbeitungszeit in Anspruch und noch mal den gleichen Zeitraum zur Auswertung in WINalyze.

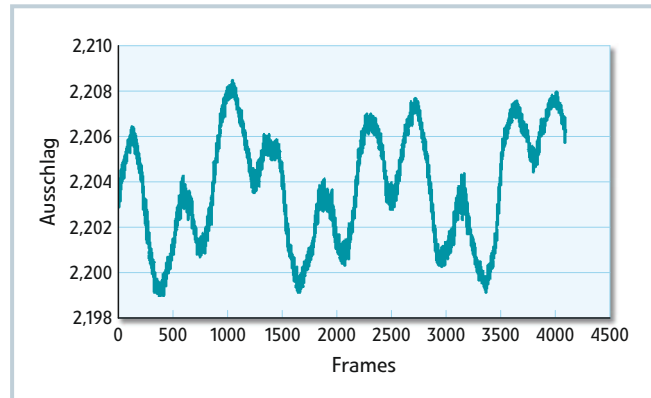
Mithilfe eines Stativs werden die Kamera und die LED-Lichtquelle vor der Fräsmaschine positioniert (Bild 1). Wichtig ist, dass weder Kamera noch Stativ direkten Kontakt zur Fräsmaschine haben, damit sich die Schwingungen nicht direkt auf die

Kamera übertragen. Indirekt lässt sich dies kaum vermeiden, dazu bräuchte die Maschine ein eigenes Fundament. Jedoch werden über den Boden nur kleine Vibrationen in das System gebracht, die bei der späteren Fourieranalyse herausgefiltert werden. Die Kamera muss zudem möglichst nahe an den Aufnahmepunkt herangebracht werden.

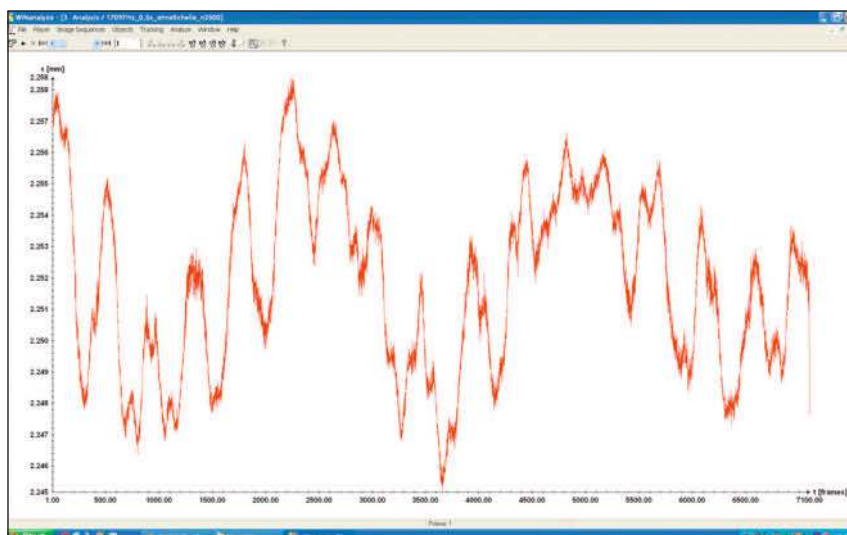
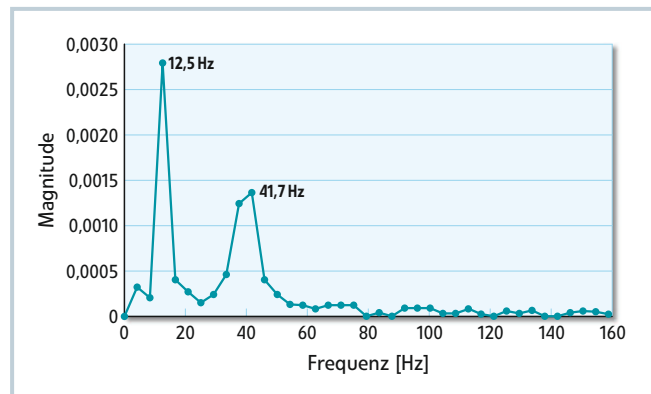
Die Maschine wird auf die zu messende Drehzahl gebracht. Die Aufnahme wird gestartet, sobald sich die Maschine eingeschwungen hat. Danach werden die Frames in eine AVI-Datei umgewandelt. Bei den verwendeten Einstellungen entsprechen 10 000 Frames einer Zeitspanne von 0,58 s, womit sich eine Bildrate/Framerate von 17 097 Hz ergibt. Diese AVI-Datei kann dann mit dem Programm WINalyze ausgewertet werden.

Ergebnisse

Die Aufnahmen mit der Hochgeschwindigkeitskamera und deren Auswertungen mit WINalyze ergeben verschiedene Schwingungsverläufe (Bild 2). Diese Verläufe werden analysiert und ausgewertet, um die wichtigen Kennwerte wie Eigenfrequenzen und Amplituden zu bestimmen. Der Graph aus WINalyze muss zur wei-



3 Schwingungsaufnahme und Frequenzgang bei der Drehzahl $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ und mit Schelle



2 $x(t)$ -Schwingung aus WINalyze, Drehzahl $n = 2500 \text{ min}^{-1}$, ohne Schelle

teren Bearbeitung exportiert werden. Dazu wird die Funktion ›Analysedaten exportieren‹ genutzt. Man erhält Daten in einer Textdatei, die mit einem Trennzeichen getrennt sind, dadurch können diese Daten in Excel oder andere Programme importiert werden.

Neben der FFT (Fast Fourier Transform, schnelle Fourier-Transformation) in Matlab besitzt auch Excel ein Analysetool, um verschiedene Datenanalysen durchzuführen. So auch eine Fourieranalyse. Über Datei/Optionen/Add-ins kann man die Datenanalyse zum Excel-Reiter ›Daten‹ hinzufügen. Über diese lässt sich die Fourieranalyse aufrufen. Als Eingabebereich werden die Daten gewählt und als Ausgabebereich eine neue Spalte. Dabei ist es wichtig, dass es, wie bei der normalen FFT üblich, nur $2n$ Werte sind. Durch ›Zero-Padding‹, sprich das Auffüllen von Nullen oder das Weglassen von Werten, kann dies im Notfall erreicht werden. Die Fourieranalyse gibt komplexe Zahlen aus. Um deren Realteil zu bekommen, wird die Funktion

$$\text{IMABS}(\text{zelle}) \times 2 / \text{Anzahl Werte}$$

benutzt. Die Frequenz erhält man aus dem Verhältnis von Abtastfrequenz der Messung und Anzahl Messwerte, multipliziert mit 1, 2, 3 (...). Dann kann man sich den Frequenzgang in einem Diagramm darstellen lassen und fenstern.

Messergebnisse mit Frequenzgang

Die Messung wurde bei einer Spindeldrehzahl von 1000 min^{-1} mit einem durch eine Schlauchschelle gezielt modifiziertem Messdorn als anregende Unwucht-Quelle durchgeführt. Klar ersichtlich sind die Eigenfrequenzen und Amplituden (Bild 3). Beim Durchfahren von Drehzahlfeldern können so Spindeldrehzahlen gefunden werden, die günstiger für den Bearbeitungsprozess sind.

Fazit: Aufwand, Kosten versus Erkenntnisse

Der eigentliche Zeitaufwand pro Messung beträgt fünf Minuten, mit Aufbau und

mit Auswertung etwa einen Tag pro Maschine. Nötiges Equipment: HG-Kamera, Mikroskop-Objektiv, gute Lichtquelle, ein Programm wie zum Beispiel WINalyze und Excel oder Matlab.

Mit einer HG-Kamera und Anregung durch die Hauptspindel ist eine Variation in der Anregungsfrequenz möglich, was bei der Modalanalyse mit dem Impulshammer nicht der Fall ist. Häufig interessieren auch nur die Antwortschwingungen bei einer bestimmten Anregung, zum Beispiel verursacht durch eine Bohrstange mit einer bestimmten Drehzahl und gewisser Restunwucht. ■

→ **WB110661**

Prof. Dipl.-Ing. Mathias Vogel leitet als Professor einen Studiengang an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Stuttgart/Horb sowie ein Steinbeis-Forschungszentrum in Oberndorf/Neckar
→ m.vogel@hb.dhbw-stuttgart.de

Marc Kaltenbrunner ist Student der Fachrichtung Maschinenbau an der DHBW Horb