

Ursachen dynamisch bedingter Oberflächenfehler schneller erkennen

Oberflächenverfahren zur Schwingungsidentifikation bei der Maschinen- und Prozeßdiagnose nutzen

Abhängig von ihrer Frequenz, Amplitude und Phasenlage beeinflussen Schwingungen die Oberflächenqualität umfangsgefräster Werkstücke. Möglichkeiten und Grenzen des sogenannten Oberflächenverfahrens, das es erlaubt, Informationen über diese die Oberflächenqualität mindernden Schwingungen direkt aus der bearbeiteten Oberfläche zu entnehmen, wurden in zwei in den letzten Ausgaben erschienenen Beiträgen eingehend diskutiert. Der vorliegende Beitrag behandelt Versuche an einer Kehlmaschine, die

die Anwendbarkeit des Verfahrens in der Holzbearbeitung belegen. Das Oberflächenverfahren kann zur Gewinnung von Informationen genutzt werden, die für eine gezielte Optimierung des Fräsprozesses bzw. der Maschinendynamik benötigt werden. Es wird ein Versuchsplan vorgestellt, mit dem diese Informationen schneller als bislang gesammelt werden können. - Von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. U. Heisel und Dipl.-Ing. H. Krondorfer ¹⁾

Einleitung:

Die beim Umfangsfräsen erreichbare Oberflächenqualität hängt vom Verschleißzustand des Werkzeugs, von den Eigenschaften des Werkstoffes sowie vom Bearbeitungsprozeß ab. Die Überlagerung einer rotatorischen Schnittbewegung und einer translatorischen Vorschubbewegung läßt auf der Werkstückoberfläche zyklidenförmige Rillen (Messerschläge) entstehen. Während der Bearbeitung auftretende Schwingungen zwischen Werkzeug und Werkstück resultieren ganz allgemein in einem veränderten Oberflächenbild. Die Rillenabfolge ist unregelmäßig, sowohl die Rillentiefe als auch die Rillenbreite variieren unter Umständen beträchtlich.

Sowohl der Einfluß von Schwingungen auf das Oberflächenbild als auch Kennzahlen zur Bewertung der kinematischen Rauheit wurden bereits in einem früher erschienenen Beitrag eingehend erläutert [1]. Das Oberflächenverfahren ermöglicht die Be-

stimmung der die Qualität mindernden Schwingungen direkt aus einer bearbeiteten Oberfläche [2, 3, 4]. Die Möglichkeiten und die theoretischen Grenzen des Verfahrens wurden in einem in der letzten Ausgabe erschienenen Beitrag erörtert [5]. Der vorliegende Bericht beschreibt an einer Kehlmaschine durchgeführte Untersuchungen, die die Anwendbarkeit des Verfahrens in der Holzbearbeitung belegen. Dabei wurden während der Bearbeitung gezielt Schwingungen eingeleitet, deren Frequenz und Amplitude bekannt waren. Die bearbeiteten Werkstücke wurden nach dem Oberflächenverfahren ausgewertet und die Ergebnisse mit den eingeleiteten Schwingungen verglichen. Sowohl die Fre-

quenz- als auch die Amplitudeninformation konnte mit sehr guter Genauigkeit ermittelt werden,

Das Oberflächenverfahren ist somit ein zusätzliches Hilfsmittel beim Auffinden der Ursachen für qualitätsmindernde Schwingungen. Das Verfahren kann zum Eingrenzen des problematischen Frequenzbereichs und zum gezielteren Einsatz herkömmlicher Hilfsmittel, wie zum Beispiel Modalanalysen bei der Prozeßoptimierung genutzt werden. Dadurch läßt sich der benötigte Zeitaufwand für Messungen an der Maschine deutlich reduzieren.

Versuchsaufbau

Das Ziel der Versuche war es, zu ermitteln, mit welcher Ge-

naugigkeit sowohl die Frequenz- als auch die Amplitudeninformationen von Schwingungen im Betrieb durch Auswerten der Werkstückoberfläche ermittelt werden können.

Die Prozeßparameter wurden bei allen Versuchen gleich eingestellt. Die Spindeldrehzahl betrug 5700 min^{-1} (95 Hz), als Vorschub wurde 15 m/min eingestellt. Als Kodierwerkzeug wurde ein vierschneidiger Messerkopf mit einem Durchmesser von 140 mm und einer Fräsbreite von 100 mm eingesetzt. Bei diesem Messerkopf handelte es sich um ein Werkzeug mit Hydrospannung, um optimalen Rundlauf zu garantieren. Die Anordnung der Kodierschneiden entsprach der in Abb. 1 gezeigten Anordnung. Mit einem elektrodynamischen Erreger wird über ein am freien Spindelende angebrachtes Rillenkugellager eine zeitlich veränderliche Kraft eingeleitet. Der Zeitverlauf dieser Schwingung ist sinusförmig mit bekannter Frequenz und Amplitude. Abb. 2 zeigt eine Skizze des Versuchsaufbaus, Die Frequenz sowie die Amplitude der Schwingung werden je-

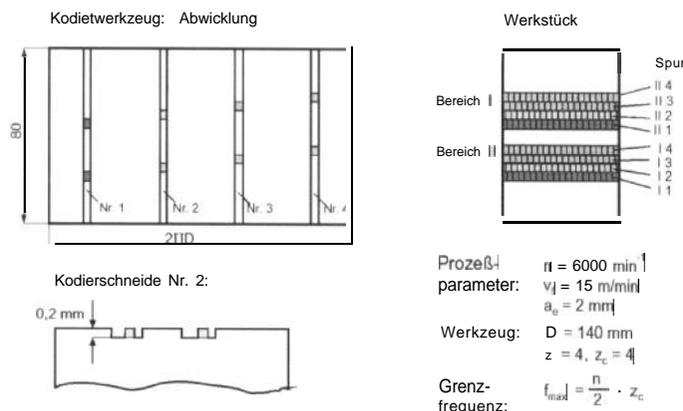


Abb. 1: Kodierwerkzeug und entstehende Werkzeugoberfläche

¹⁾ Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. U. Heisel ist Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart. Dipl.-Ing. H. Krondorfer leitet die Arbeitsgruppe „Maschinenkonstruktion am IfW“

weils vor Beginn der Bearbeitung bei stillstehender Maschine eingestellt. Die Einstellung der Frequenz wird dabei am Sinusgenerator, die der Amplitude am Leistungsverstärker vorgenommen. Mit Hilfe eines auf dem Werkzeug positionierten Beschleunigungsaufnehmers sowie mit einem berührungslosen Wegmeßsystem kann die Einstellung kontrolliert werden. Der berührungslose Aufnehmer ist auf eine geschliffene und hydrostatisch zentrierte Buchse am Spindelende gerichtet. Die Signale beider Sensoren werden aufbereitet und am Bildschirm des FFT-Ansalytors angezeigt. Das Einleiten der zeitlich veränderlichen Kraft über ein Rillenkugellager ermöglicht es, das System während der Bearbeitung anzuregen und das berührungslose Wegmeßsystem ermöglicht eine Schwingungsmessung an der rotierenden Welle. Aufgrund der Montage des Wegmeßsystems in einem mit dem Maschinentisch fest verbundenen Rahmen werden mit diesem Sensor Schwingungen der Spindel relativ zum Maschinentisch gemessen.

Unter der Annahme, daß die Schwingungsform der erzwungenen (der eingeleiteten) Schwingung während der Bearbeitung und im Maschinenstillstand gleich ist, kann mit Hilfe des im Stillstand gemessenen Amplitudenverhältnisses und dem während der Bearbeitung am berührungslosen Aufnehmer gemessenen Signal auf die Schwingungsamplitude im Kodierbereich geschlossen werden. Für die Versuchsdurchführung ergibt sich daraus die folgende Vorgehensweise. Zunächst wird die Schwingung nach Frequenz und Amplitude im Stillstand der Maschine einreguliert. Nach Entfernen des Beschleunigungsaufnehmers wird die Maschine eingeschaltet und ein Werkstück bearbeitet. Während der Bearbei-

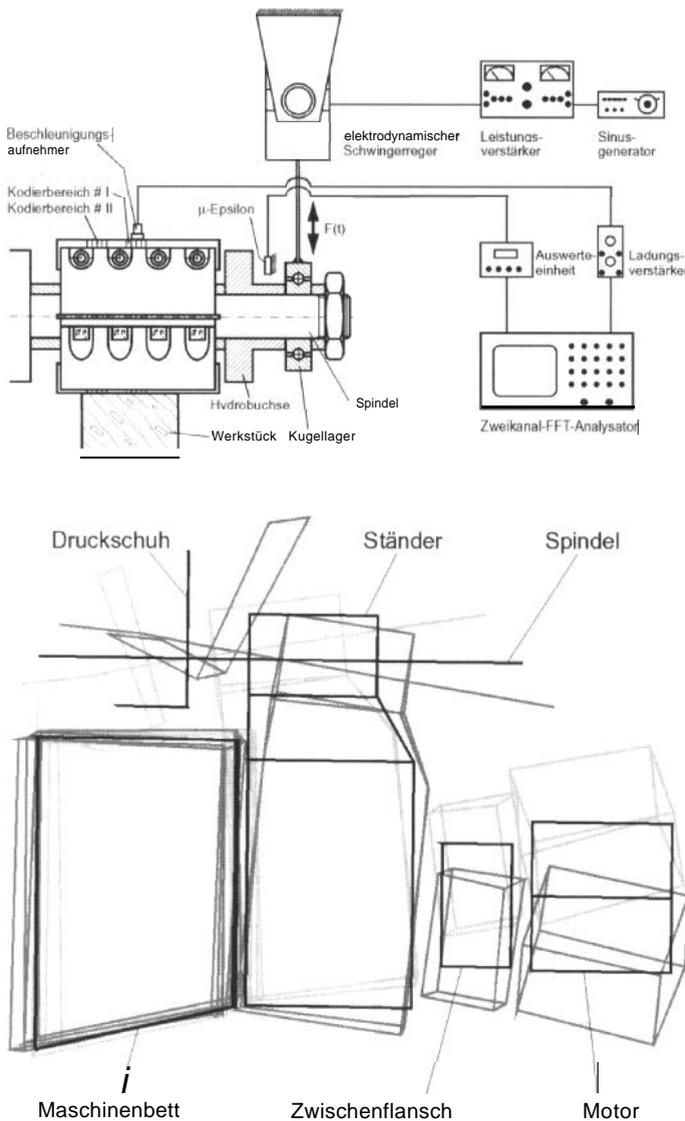


Abb. 2: Einleiten von Schwingungen während der Bearbeitung

Abb. 3: Modale Schwingungsform der Maschinenstruktur bei $f = 60$ Hz

mit der Spindel um die x-Achse der Maschine. im Spindelbereich entspricht diese Modalform weitestgehend der eingeleiteten Schwingungsform, Abb. 3. Für die einzuleitende Schwingung wird daher eine Frequenz von 60 Hz gewählt. Auf diese Weise kann eine Amplitude von mehr als 10 μ m im Kodierbereich erreicht werden. Die Amplitude der eingeleiteten Schwingung wird schrittweise erhöht. Sie beträgt im Kodierbereich zunächst 2,5 μ m dann 5,0 μ m, 7,5 μ m und schließlich 10 μ m. Während der Bearbeitung wird jeweils die Schwingung mit dem berührungslosen Wegmeßsystem kontrolliert. Die Oberflächen der bearbeiteten Werkstücke werden abgetastet und die Oberflächenprofile wie in [5, 6] beschrieben ausgewertet. Als Ergebnis der Oberflächenanalyse sollte die jeweils eingeleitete Schwingung reproduzierbar identifiziert werden können.

Die Darstellung in Abb. 5 zeigen neben einem Foto der Holzoberfläche im Schräglicht das dazugehörige Frequenzspektrum als Ergebnis der Oberflächenanalyse. Anhand der Fotos ist zu erkennen, daß unabhängig von der Größe der eingeleiteten Schwingungsamplitude ein Einmesserföhen auftritt. Die mittlere Rillenlänge entspricht sowohl außerhalb des Kodierbereichs als auch innerhalb der Kodierspuren dem Vorschub je Umdrehung (2,6 mm). Darüber hinaus zeigen die Fotos sehr deutliche Unterschiede hinsichtlich der Gleichmäßigkeit der Rillenabfolge in Abhängigkeit von der Größe der eingeleiteten Schwingungsamplitude. Je größer die Amplitude der eingeleiteten Schwingung,

tung wird das Signal des berührungslosen Wegmeßsystems aufgenommen und ausgewertet. Bleibt die Amplitude gegenüber der Stillstandsmessung unverändert, so kann man davon ausgehen, daß sich auch die Amplitude in der Zerspanstelle nicht geändert hat. Die bearbeitete Oberfläche kann dann nach dem Oberflächenverfahren ausgewertet werden [5]

Amplitudenvariation

Um die Amplitudengenauigkeit des Verfahrens nachzuweisen, wurde die Frequenz der eingeleiteten Schwingung während der gesamten Versuchsreihe unverändert beibehalten, wohingegen in jedem Versuch eine andere Amplitude eingestellt wurde. Die

verfügbare Verstärkerbeziehungswiese Erregerleistung begrenzt die maximale Amplitude der einzuleitenden Schwingung. Die Frequenz muß daher unter Berücksichtigung des dynamischen Nachgiebigkeitsverhaltens der Maschine ausgewählt werden, indem man gezielt eine Frequenz wählt, bei der die Maschinenstruktur eine erhöhte Nachgiebigkeit in Anregungsrichtung besitzt.

Eine im Vorfeld durchgeführte Modalanalyse zeigte eine erhöhte Nachgiebigkeit der Maschine in Anregungsrichtung bei einer Frequenz von 60 Hz. Bei der zugehörigen modalen Schwingungsform handelt es sich um eine Schwenkbewegung des Antriebsmotors in Verbindung

um so ungleichmäßiger ist die Rillenabfolge.

Drei Kodierspuren treten jeweils deutlich hervor. Als vierte Kodierspur dient der Bereich unter- bzw. oberhalb dieser Spuren, in diesen Bereichen hat sich ein und dieselbe Schneide abgebildet. Es spielt daher keine Rolle, welcher Bereich zur Auswertung herangezogen wird.

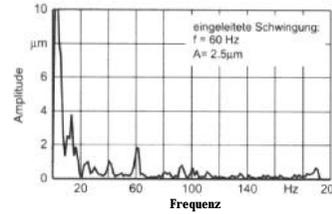
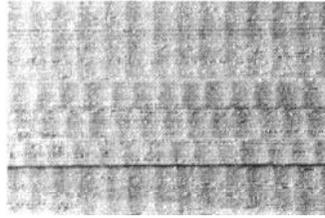
Ein Vergleich der Frequenzspektren mit den jeweils eingeleiteten Schwingungen zeigt, daß die Amplituden von Schwingungen zwischen Werkzeug und Werkstück mit guter Genauigkeit ermittelt werden können. Die Höhe der Peaks bei der Frequenz der eingeleiteten Schwingung ($f = 60 \text{ Hz}$) entspricht den jeweils eingeleiteten Amplituden. Die maximale Abweichung zwischen der eingeleiteten und der aus der Oberfläche identifizierten Amplitude ist kleiner als $1 \mu\text{m}$.

Frequenzvariation

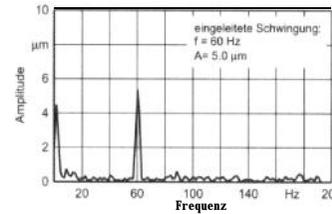
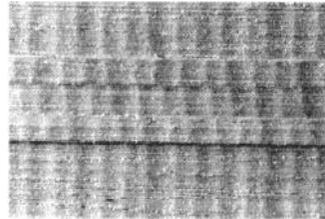
In dieser zweiten Versuchsreihe sollte untersucht werden, ob für beliebige Frequenzen der Relativschwingung zwischen Werkzeug und Werkstück sowohl die Frequenz als auch die Amplitudeninformation korrekt aus der Oberfläche ermittelt werden können. Dazu wurde bei konstanter gehaltener Amplitude die Frequenz der eingeleiteten Schwingung in jedem Versuch verändert, nacheinander wurde eine Frequenz von 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, , 180 Hz eingestellt und ein Werkstück bearbeitet. Die Frequenz weicht damit meist von der Modalfrequenz (60 Hz), Abb. 3, ab. Dennoch ist die Schwingungsform dieser erzwungenen Schwingung die gleiche wie die in der vorangegangenen Versuchsreihe aufgetretene Schwingungsform, aufgrund der höheren Steifigkeit der Maschinenstruktur bei von der Modalfrequenz abweichenden Frequenzen kann wegen der

Frequenz [Hz]	20 Hz	40 Hz	60 Hz	80 Hz	100 Hz	120 Hz	140 Hz	160 Hz	180 Hz
Amplitude (eingeleitet) [μm]	4,98	5,01	5,03	5,01	4,98	5,02	4,99	5,02	5,01
Amplitude (identifiziert) [μm]	6,12	5,55	5,48	4,82	5,03	4,77	5,31	5,48	4,82

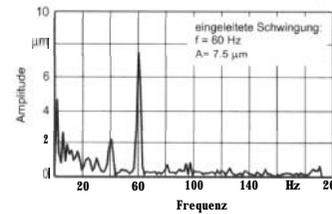
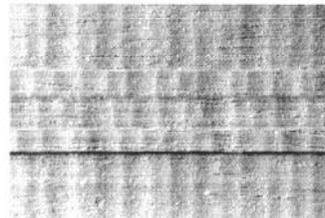
a) Eingeleitete Schwingung: Frequenz = 60 Hz, Amplitude = 2,5 μm



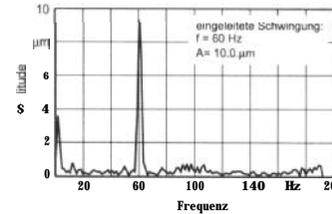
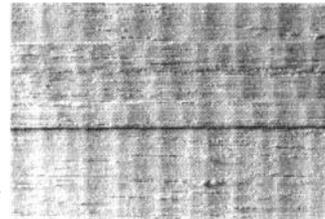
b) Eingeleitete Schwingung: Frequenz = 60 Hz, Amplitude = 5,0 μm



c) Eingeleitete Schwingung: Frequenz = 60 Hz, Amplitude = 7,5 μm



d) Eingeleitete Schwingung: Frequenz = 60 Hz, Amplitude = 10,0 μm



begrenzten Leistung des Leistungsverstärkers jedoch nicht in allen Fällen eine Amplitude von $10 \mu\text{m}$ erreicht werden. Deshalb, und weil darüber hinaus kleinere Amplituden die größere praktische Bedeutung haben, wurde für diese Versuchsreihe eine Amplitude von $5 \mu\text{m}$ im Kodierbereich gewählt.

Abb. 6 zeigt exemplarisch einige Ergebnisse dieser Versuchsreihe, wiederum ist jeweils neben dem Foto der Oberfläche im Schräglicht das entsprechende Frequenzspektrum dargestellt. Die nach dem Oberflächenverfahren ermittelten Schwingungsfrequenzen decken sich im Rahmen der Frequenzauflö-

sung mit der jeweils eingeleiteten Frequenz. Die Amplitude weicht auch bei dieser Versuchsreihe um höchstens $\pm 1,1 \mu\text{m}$ von der jeweils eingeleiteten Amplitude ab. Auch für eine Schwingungsfrequenz nahe der Drehfrequenz (95 Hz) konnte ein einwandfreies Ergebnis erzielt werden, Abb. 6d. Vor der Auswertung der Oberflächenprofile wurde ein Ausgleich der Niveaulagen der Kodierspuren durchgeführt. Darum wird in den Spektren der Peak bei Drehfrequenz (95 Hz) und deren Harmonischen weitestgehend unterdrückt, vgl. [4] [5]. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Abb. 4 zusammengefaßt.

Abb. 4: Bearbeitung mit Schwingungseinleitung (Frequenzvariation)

Abb. 5: Ergebnisse der Schwingungsanalyse nach dem Oberflächenverfahren: Amplitudenvariation

Die Fotos machen deutlich, daß die Rillenungleichförmigkeit und damit die Oberflächenqualität entscheidend von der Frequenz der dem Zerspanprozeß überlagerten Schwingung abhängt. So erscheint beispielsweise bei einer Frequenz der überlagerten Schwingung von 80 Hz sehr viel gleichmäßiger als bei einer Frequenz von 60 Hz, Abb. 6 b und 6c. Dies wird auch durch Simulationen bestätigt. Bei einer Frequenz von 80 Hz ergibt sich eine mittlere Rillenungleichförmigkeit von $\delta_{\parallel} = 3\%$ wohingegen diese bei 60 Hz $\delta_{\parallel} = 20,7\%$ beträgt (Simulationsergebnisse). Bei einer Störfrequenz von 20 Hz ist die Abfolge der einzelnen Messerschläge relativ gleichmäßig ($\delta_{\parallel} = 4,9\%$). Die überlagerte Schwingung zeigt sich hier jedoch als langwellige Störung auf der Oberfläche, erkennbar an dunklen Schattierungen mit einer Länge von in etwa drei bis vier Messerschlägen, Abb. 6a.

Maschinen- und Prozeßoptimierung
Mit Hilfe des Oberflächenverfahrens lassen sich qualitätsmindernde Schwingungen vergleichsweise schnell und mit geringem Meßaufwand an der Maschine bestimmen. Diese Informationen sind unerlässlich, um zielgerichtet Gegenmaßnahmen gegen diese Schwingungen einleiten zu können. Um diese Informationen optimal zu nutzen, wurde ein Versuchsprogramm zur Maschinendiagnose erarbeitet. Dieses Versuchsprogramm sieht die Anwendung des Oberflächenverfahrens in Kombination mit herkömmlichen

Meßmethoden vor. In Abhängigkeit von der jeweiligen Problemlage werden neben dem Oberflächenverfahren herkömmliche Schwingungsmessungen mit Beschleunigungsaufnehmern oder auch komplette Modal- bzw. Betriebschwingungsanalysen eingesetzt. Das Oberflächenverfahren hilft dabei, die genannten Methoden gezielt und problemorientiert einzusetzen. In den meisten Fällen können mit diesem Versuchsprogramm die für eine Maschinoptimierung benötigten Informationen innerhalb von drei Meßtagen gewonnen werden. Der ‚senkrechte‘ Weg durch das in Abb 7 dargestellte Versuchsprogramm stellt dabei den Normalfall dar; in diesem Fall können die Messungen in der oben genannten Zeit durchgeführt werden.

Ausgehend von einer unbefriedigenden Oberflächenqualität gefertigter Werkstücke muß zunächst geklärt werden, ob diese mangelhafte Oberflächenqualität durch Schwingungen verursacht wurde oder ob andere Ursachen, wie zum Beispiel ungünstige Wahl der Zerspanparameter oder ein ungeeignetes beziehungsweise verschlissenes Werkzeug, eine Rolle spielen. Ausbrüche sowie eine faserige Oberflächenbeschaffenheit aufgrund einer zerstörten Zellstruktur lassen auf ungünstige Zerspanparameter oder ein verschlissenes Werkzeug schließen. In diesem Fall sind andere Zerspanparameter zu wählen beziehungsweise das Werkzeug zu ersetzen.

Eine ungleichförmige Abfolge der Messerschläge oder sogenannte „Rillennester“ deuten hingegen auf Schwingungen während der Zerspannung hin, in diesem Fall muß zunächst die Frequenz und die Amplitude dieser qualitätsmindernden Schwingungskomponente(n) bestimmt werden, damit gezielte Gegenmaßnahmen ergriffen werden

können. Dazu wird ein Testwerkstück mit einem kodierten Fräser bearbeitet und anschließend eine Oberflächenanalyse durchgeführt. Der Kodierfräser sollte dabei nach Möglichkeit aus dem normalerweise für den zu untersuchenden Prozeß verwendeten Werkzeug abgeleitet sein, um Veränderungen des dynamischen Verhaltens aufgrund unterschiedlicher Werkzeugmassen zu vermeiden. Sollte es nicht möglich sein, das normalerweise verwendete Werkzeug zu kodieren, so muß darauf geachtet werden, daß das Kodierwerkzeug zumindest eine vergleichbare Masse und Abmessungen besitzt.

Als Ergebnis dieser Oberflächenanalyse erhält man die Frequenz und Amplitude der Schwingungskomponenten, die das Oberflächenbild negativ beeinflussen. Eine Oberflächen simulation zur Verifikation der Ergebnisse ist insbesondere dann hilfreich, wenn „Rillennester“ aufgrund von Überlagerungen von Schwingungen mit nur leicht unterschiedlicher Frequenz auftreten. Darüber hinaus läßt sich abschätzen, inwieweit bei Unterdrückung bestimmter Schwingungsfrequenzen eine bessere Oberflächengüte erzielt werden kann. Mit Kenntnis der Frequenz(en) der störenden Schwingung(en) kann die Optimierung des Prozesses beziehungsweise der Maschine nun zielgerichtet erfolgen. Um die Ursache für diese Störschwingung zu identifizieren, werden allerdings noch weitergehende Informationen benötigt.

Ein Vergleich der Störfrequenz(en) mit den charakteristischen Betriebsfrequenz benachbarter Aggregate und Antriebe kann in manchen Fällen bereits die Ursache für die qualitätsmindernden Schwingungen liefern. In diesem Fall sollte zunächst versucht werden, die Schwingungsursache im betreffenden

HELLMANN

Sondermaschinen Fördertechnik Profilschleifmaschinen

Profil- und Lackzwischen schleifmaschinen in einseitiger und doppelseitiger Ausführung.

Für die Einsatzbereiche:
Fenster- und Türenbau
Innen- und Ladenbau
Möbelfertigung und Leistenfabrikation

Hellmann Maschinenbau GmbH
Karlsstraße 2a
D-32052 Herford

Telefon 052 21-550 31
Telefax 052 21-550 34

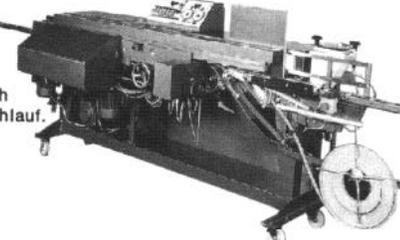
HOB-KENNZIFFER 45

Kantenanleinmaschine »Kantenfix«

mit senkrechtem Werkstückdurchlauf.
Die ideale Maschine für jede Betriebsgröße.

**Leimt an, fräst bündig,
kappt bündig
Massivleisten (bis 20 mm)
Furniere, Kunststoffkanten**

Geringster Platzbedarf durch senkrechten Werkstückdurchlauf.
Einfachste Bedienung,
exakte Kantenbearbeitung,
hohe Arbeitsleistung,
tausendfach bewährt



Fordern Sie Prospekte an:



BMS Blaich
HOLZBEARBEITUNGSMASCHINEN

Dipl.-Ing. **BLAICH** GmbH, Maschinenfabrik
Postfach 249, 72261 Baiersbrunn-Mitteltal
Telefon (0 74 42) 23 55, Fax (0 74 42) 77 38

HOB-KENNZIFFER 46

Delle Vedove

Profil- und Kantenschleifmaschinen
Lackieranlagen für Profileisten
Prägemaschinen

Delle Vedove Deutschland GmbH
Am Hüttenbrink, 21 D - 33334 Gütersloh

Tel. 05241 - 4134
Fax 05241 - 49496



Verteiler mit Lager
für Schleifscheiben



HOB-KENNZIFFER 47

Endlich mischen wir den Markt auf.

Wir zerkleinern pfeilschnell!

Kaufen Sie keine Maschine bevor
Sie mit uns gesprochen haben!





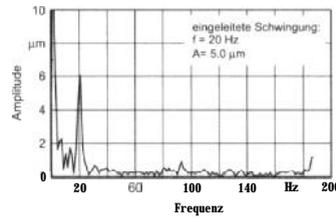
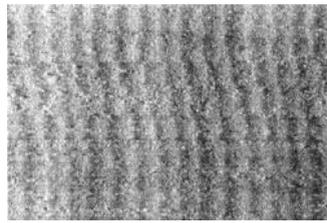
PFEIL GMBH · MÖLLERSTRASSE 28 · 58119 HAGEN
TELEFON 0 23 34/9 58 50 · FAX 0 23 34/56 70 12

HOB-KENNZIFFER 48

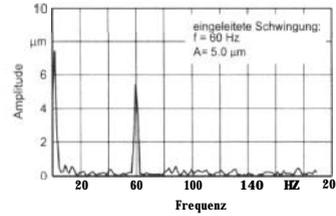
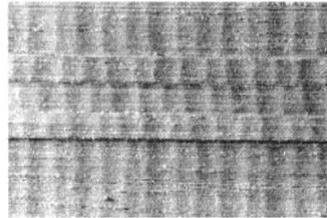
Aggregat oder Antrieb zu beseitigen, Sollte dies nicht mit vertretbarem Aufwand möglich sein, so müssen die Übertragungswege vom betreffenden Aggregat zum Arbeitspunkt hin optimiert werden. Dazu wird in der Regel das betreffende Aggregat dynamisch von der Maschine entkoppelt. Für den Fall, daß keine benachbarten Aggregate als Ursache für die Störschwingung ausgemacht werden können, ist die Ursache im Prozeß oder in der Maschinenstruktur zu suchen. Für den Fall, daß bereits eine Modalanalyse der Maschine vorliegt, vergleicht man die ermittelten Störfrequenz(en) mit den Eigenfrequenzen der Maschine. Bei Übereinstimmung kann man anhand der zugehörigen Eigenform die Schwachstellen der Struktur erkennen. Diese Schwachstellen sind dann durch geeignete konstruktive Maßnahmen zu beseitigen. Sollte keine Übereinstimmung mit den ermittelten Eigenfrequenzen festzustellen sein, so kann dies daran liegen, daß bei der zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführten Modalanalyse die Maschine anders ausgerüstet war (zum Beispiel montierte Zusatzaggregate, andere Werkzeuge, etc.),

Falls noch keine Modalanalyse vorliegt oder die ermittelten Frequenz(en) nicht mit den Eigenfrequenzen aus einer früheren Modalanalyse übereinstimmen, müssen zunächst die Eigenfrequenzen der Maschine bestimmt werden. Dies geschieht in der Regel bei stillstehender Maschine durch Beschleunigungsmessungen beim freien Ausschlagen nach Schlaganregung. Der Anregungspunkt als auch der Befestigungspunkt, an dem der Beschleunigungsaufnehmer angebracht wird, sollten sich dabei im Bereich der interessierenden Spindel beziehungsweise am Werkzeug befinden.

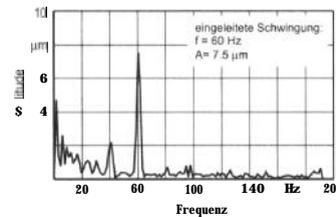
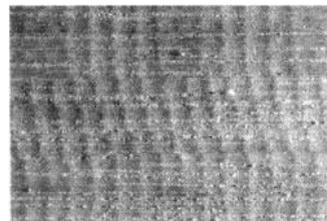
a) Eingeleitete Schwingung: Frequenz = 20 Hz, Amplitude = 5,0 μm



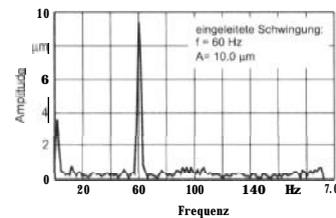
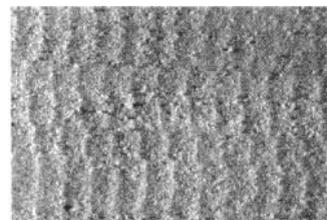
b) Eingeleitete Schwingung: Frequenz = 60 Hz, Amplitude = 5,0 μm



c) Eingeleitete Schwingung: Frequenz = 80 Hz, Amplitude = 5,0 μm



d) Eingeleitete Schwingung: Frequenz = 100 Hz, Amplitude = 5,0 μm



Falls keine Übereinstimmung zwischen den ermittelten Eigenfrequenzen und der/den Störfrequenz feststellbar ist, handelt es sich um Schwingungen, die aus dem Prozeß heraus angeregt werden und nur während der Bearbeitung auftreten. Eine Betriebschwingungsanalyse gibt Aufschluß über die zugehörigen Schwingungsformen und die Schwachstellen. Bei der Durchführung dieser Betriebschwingungsanalyse kann der Meßbereich auf den Bereich der ermittelten Störfrequenzen eingeschränkt werden.

Bei Übereinstimmung der Störfrequenz mit einer Eigenfrequenz der Maschinenstruktur muß im nächsten Schritt die zugehörige Schwachstelle gefunden werden. Dazu wird die Struktur erneut durch Schlaganregung

angeregt. Mit zwei Beschleunigungsaufnehmern wird die Systemantwort gemessen. Ein Beschleunigungsaufnehmer dient dabei als Referenz und verbleibt bei allen Messungen an derselben Stelle, Der andere Aufnehmer wird mit jeder Messung an eine andere Meßstelle gesetzt. Der Meßbereich wird auf den interessierenden Frequenzbereich beschränkt. Unter der Voraussetzung linearen Systemverhaltens gilt, daß das Verhältnis der Schwingungspegel an zwei Meßstellen reproduzierbar ist, auch wenn die absoluten Schwingungspegel aufgrund unterschiedlicher Anregungspegel bei einer Schlaganregung mit einem Hammer bei jeder Messung unterschiedlich groß sind. Deshalb werden die mit dem „wandernden“ Beschleunigungsaufnehmer gemessene

Abb. 6: Ergebnisse der Schwingungsanalyse nach dem Oberflächenverfahren: Frequenzvariation

nen Signale auf das am Referenzaufnehmer gemessene Signal bezogen. Für jeden Meßpunkt wird das jeweilige Amplitudenverhältnis bei der betrachteten Eigenfrequenz bestimmt. Zur Erhöhung der statistischen Sicherheit bildet man den Mittelwert aus mehreren (bis zu 25) Messungen. Anhand der Amplitudenverhältnisse kann in vielen Fällen auf die zugehörige Schwingungsform geschlossen werden, indem man in einer Skizze der Struktur jeweils über den Meßpunkten das festgestellte Amplitudenverhältnis aufträgt. Die für die Störschwingungen verantwortliche Schwachstelle kann auf diese Weise erkannt werden,

Bei komplizierten Eigenformschwingungsformen oder Strukturen führt das oben beschriebene Vorgehen nicht immer zum Erfolg. In diesem Fall ist es erforderlich, doch noch eine Modalanalyse durchzuführen. Diese Modalanalyse kann mit den bereits gesammelten Informationen jedoch zielgerichtet über einen eingeschränkten Frequenzbereich entsprechend den ermittelten Störfrequenzen durchgeführt werden. Unter Umständen genügt auch eine Modalanalyse nur eines Teils der Maschine, so daß die Anzahl der Meßpunkte deutlich reduziert werden kann. Anhand der Eigenform(en), deren Frequenz(en) den ermittelten Störfrequenz(en) entsprechen, lassen sich die Schwachstellen erkennen und Ansatzpunkte für eine Optimierung des dynamischen Maschinenverhaltens ableiten.

Zusammenfassung

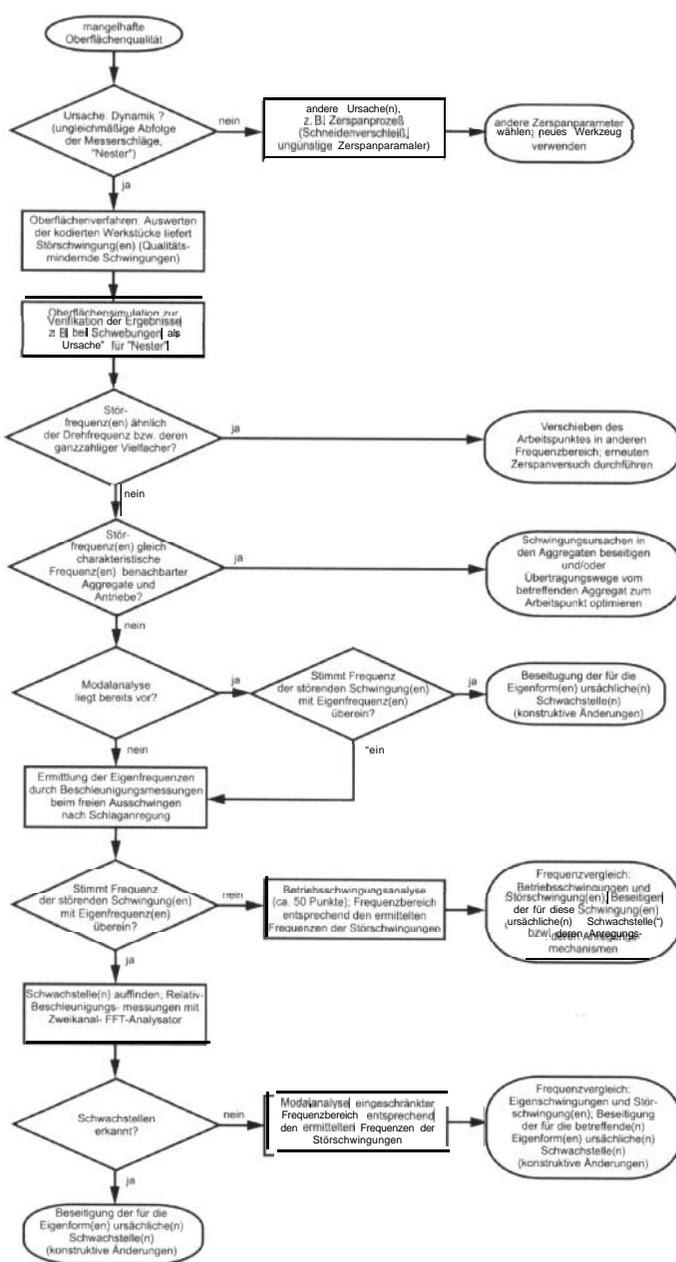
Die durchgeführten Untersuchungen bestätigen die Anwendbarkeit des Oberflächenverfahrens zur Schwingungsidentifikation bei Massivholz-

Abb. 7: Versuchsprogramm zur Maschinendiagnose

oberflächen. Innerhalb der in [4, 5] erörterten Verfahrensgrenzen lassen sich sowohl die Frequenz als auch die Amplitude von Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück mit guter Genauigkeit bestimmen. Geeignete Abtastbedingungen beim Messen der Oberflächenprofile [6] sowie ein geeignetes Vorgehen bei der Auswertung der Oberflächenprofile [5] ermöglichen es, den Einfluß der inhomogenität der Holzwerkstoffe weitestgehend zu unterdrücken. Durch Vergleich der in zwei nebeneinanderliegenden Kodierbereichen ermittelten Amplituden kann unter Einschränkungen auch auf die zugehörige Schwingungsform geschlossen werden. Bei der beschriebenen Bearbeitung an der Horizontalspindel einer Kehlmaschine führt beispielsweise die eingeleitete Schwingungsform (Schwenkbewegung der Spindel) zu größeren Amplituden in dem näher am Spindelende befindlichen Kodierbereich.

Das Oberflächenverfahren macht erstmals die in der Oberfläche enthaltenen Informationen für eine Beurteilung des dynamischen Verhaltens nutzbar. Es ist dabei nicht als Konkurrenz zu bestehenden Verfahren zur Untersuchung des dynamischen Maschinenverhaltens anzusehen, sondern stellt eine wichtige Ergänzung dar. Der vorgestellte Versuchsplan berücksichtigt dies, indem das Oberflächenverfahren dazu genutzt wird, herkömmliche Meßmethoden zielgerichteter einzusetzen.

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des AiF-Forschungsprojektes „Qualitätssicherung durch Anwendung eines Verfahrens zur Bestimmung von Schwingungen aus Werkstückoberflächen in der Holzbearbeitung“ (Nr.61Q) erarbeitet, wel-



ches vom Bundesministerium für Wirtschaft (BWi) über die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) gefördert wurde.

Literatur:

[1] Heisel, U.; Krondorfer, H.: Oberflächenqualität beim Umfangsplanfräsen HOB 7/8 1996, S. 59-62.
 [2] Heisel, U.; Fischer, A.: Von der Oberfläche zur Maschinenbeurteilung beim Umfangsplanfräsen. HOB 6, 1992, S 30-34.
 [3] Heisel, U.; Vibrations and Surface Generation in Slab Milling, Annals of the CIRP,

43/1 1994, s. 337-340,
 [4] Heisel, U.; Krondorfer, H.: Surface Method for Vibration Analysis in Peripheral Milling of Solid Wood. In: Proc. of the 12th int. Wood Machining Seminar, 2. - 4. Okt. 1995, Kyoto/Japan, Hrsg.. The 12th IWMS Organizing Committee, 1995, S. 115-125.
 [5] Heisel, U.; Krondorfer, H.: Oberflächenverfahren zur Schwingungsanalyse. HOB 9, 1996
 [6] Heisel, U.; Krondorfer, H.: Meßtechnik für Massivholzoberflächen. HOB 5, 1995, S. 205-207.

Er ist kraftvoll. Er ist leise!
 Eristschnell! Erbenötigt wenig Energie.

Er auch.

Fordern Sie unsere Prospekte!

Restholzerkleinerer von Hauptstr.43 D-79312 Emmendingen Telefon 0 76 41 / 92 18-0 Telefax 0 76 41 / 26 93

Maschinen- u. Apparatebau GmbH

HOB-KENNZIFFER ... 49

Walzenauftragsmaschine für Leim, Öl, Wachs...

- reinigungsfreundlich
- weil schnellzerlegbar
- leistungsstark

300 - 300 mm

Axel Wirth Maschinen Postfach 1365 D-73444 Oberkochen Tel.07364/8580 - Fax 6457

HOB-KENNZIFFER ... 50

FÜR NEUE ZIELE

Elektro-Heizstäbe

In Längen von 600 - 6000 mm.

Harteloxierte Oberfläche. Gemäß VDE-Vorschrift.

Auch in alten Kantenpressen einsetzbar.

- Elektro-Heizplatten
- Medium-Heizplatten
- Flexible Heizplatten
- Preßwerkzeuge
- Elektro-Heizstäbe

Bitte Prospekt anfordern!

Busse Heizplattentechnik GmbH Postfach 1107 D-32325 Espelkamp Telefon 05772-8030 Telefax 05772-7547

HOB-KENNZIFFER 51