

Oberflächenqualität beim Umfangsplanfräsen

Neue Kennzahlen zur Beurteilung der kinematischen Rauheit von umfangsfräsbearbeiteten Massivholzoberflächen

Umfangsfräsverfahren sind aufgrund der Vielfalt an Anwendungsmöglichkeiten in der Holzbearbeitung die am häufigsten genutzten Bearbeitungsverfahren. Die erreichbare Oberflächenqualität hängt vom Verschleißzustand des Werkzeugs, von den Eigenschaften des Werkstücks sowie vom Bearbeitungsprozeß ab. Aufgrund der Überlagerung von translatorischer Vorschubbewegung und rotatorischer Schnittbewegung entsteht beim Hobeln (Umfangsplanfräsen) auf der Werkstückoberfläche ein zyklidenförmiges Wellenprofil, die kinematische Rauheit. Der vorliegende Beitrag behandelt neue Kennzahlen zur objektiven Beurteilung der kinematischen Rauheit als ein wesentliches Qualitätsmerkmal gehobelter bzw. umfangsgefräster Massivholzoberflächen. – Von Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. U. Heisel und Dipl.-Ing. H. Krondorfer¹⁾

Einleitung:

Die Oberflächenqualität gefräster Vollholzoberflächen hängt von unterschiedlichen Einflußparametern ab. Man unterscheidet nach der Entstehungsursache zwischen der strukturellen Rauheit, einer fertigungstechnisch bedingten Rauheit und der kinematischen Rauheit [1]. Auf einer bearbeiteten Oberfläche sind

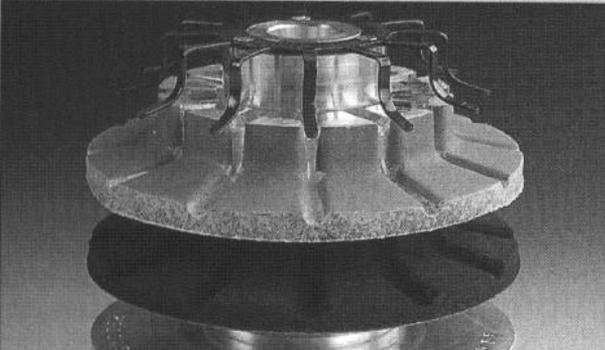
diese Rauheitskomponenten einander überlagert. Die fertigungstechnisch bedingte Rauheit wird durch die Winkel am Schneidkeil sowie durch den Schneidverschleiß bestimmt und äußert sich in der Dicke der Zone, innerhalb derer die Zellstruktur des Holzes zerstört wird [2]. Die Strukturrauheit ist durch die inhomogenen Eigenschaften des Werk-

stoffs gegeben. Sie äußert sich in der Porigkeit der Oberflächen sowie in Unterschieden zwischen Früh- und Spätholzbereichen. Die kinematische Rauheit entsteht aufgrund der Messereingriffsverhältnisse und äußert sich beim Umfangsfräsen in zyklidenförmigen Bearbeitungsritzen auf der Oberfläche, den sogenannten Hobel- oder Messer-

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

Schlägen. Für die Oberflächenqualität ist sowohl die Rillentiefe als auch die Rilllänge von Bedeutung. Darüber hinaus wird eine möglichst gleichmäßige Abfolge dieser Bearbeitungsritzen angestrebt. Eine Oberfläche mit Messerschlägen, die hinsichtlich der Rillentiefe und -länge sowie ihrer Niveaulagen stark variieren, wird insbesondere nach dem Lackieren oder Beizen als qualitativ minderwertig empfunden.

Meist sind während der Bearbeitung auftretende Schwingungen die Ursache für diese Rillungleichförmigkeit. Obwohl sowohl die Rillentiefe selbst als auch die Unterschiede in den Niveaulagen nur wenige Mikrometer betragen, sind sie doch visuell wahrnehmbar und machen in der Regel nachfolgende Schleifoperationen notwendig. Eine gezielte Optimierung des dynamischen Maschinenverhaltens mit dem Ziel, die Oberflächenqualität zu verbessern, setzt die Kenntnis



Praktisch rundum rationell

Die intelligente Profilschleif-Alternative:

- Zeitgemäß
- Zeitsparend
- Zukunftsorientiert

Für weitere Informationen, fordern Sie unsere VHS-Infokassette und unsere Prospekte an:

ARMINIUS

TOOLING



ARMINIUS-Schleifmittel GmbH · Postfach 6024 · D-32732 Detmold · Tel. (05231) 9455-0/Verkauf 9455-13/15 · Fax 9455-99

der Frequenzen), Amplitude(n) und Phasenlage(n) der qualitätsmindernden Schwingungskomponenten voraus. Das am Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart entwickelte Oberflächenverfahren ermöglicht es, diese Informationen direkt durch Auswertung bearbeiteter Oberflächen zu gewinnen [3, 4]. Die Anwendung des Oberflächenverfahrens zur Schwingungsanalyse in der Massivholzbearbeitung wird in einem in der nächsten Ausgabe erscheinenden Beitrag eingehend erläutert.

Die Beurteilung der kinematischen Rauheit als ein wesentliches Qualitätsmerkmal ist auch im Hinblick auf die Bewertung des Erfolgs einer durchgeführten Verbesserungsmaßnahme von großer Bedeutung. Bislang erfolgt dies anhand des subjektiven Eindrucks des Betrachters. Für eine objektive Beurteilung wurde bereits früher ein Vorschlag für eine Kennzahl gemacht [5]. Der vorliegende Beitrag behandelt verbesserte Kennzahlen zur Beurteilung der kinematischen Rauheit, die auf der früher vorgestellten Kennzahl, der Rillenungleichförmigkeit aufbauen.

Der Einfluß von Schwingungen auf das Fräsbild Abb. 1 verdeutlicht die Oberflächenentstehung bei schwingungsfreier Bearbeitung und unter dem Einfluß von Schwingungen zwischen Werkstück und Werkzeug Aufgrund der Überlagerung der rotatorischen Schnittbewegung und der translatorischen Vorschubbewegung entstehen beim Umfangsplanfräsen zyklidenförmige Bearbeitungsritzen auf dem Werkstück. Für die Oberflächenqualität gehobelter Werkstücke ist zum einen der Abstand dieser Bearbeitungsritzen (Rillenlänge) und zum anderen deren gleichmäßige Abfolge ausschlaggebend. Die Rillenlänge und

-tiefe werden bei einer schwingungsfreien Zerspaltung durch die Prozessparameter Vorschub und Drehzahl bestimmt. Die Rillentiefe errechnet sich nach der folgenden Gleichung:

$$t_R = \frac{1}{2} \cdot D \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{f_z^2}{D^2}} \right) \quad (1)$$

Ursache für eine ungleichförmige Rillenabfolge sind Schwingungen während der Zerspaltung sowie ungleiche Messerflugkreise und eine un-

gleiche Zahnteilung des Werkzeugs. Während der Zerspaltung auftretende Schwingungen bewirken periodische Änderungen der Relativlage von Werkzeug und Werkstück. In Abhängigkeit von Frequenz, Amplitude und Phasenlage dieser Schwingungen ergeben sich auf dem Werkstück Rillen mit unregelmäßiger Länge und Tiefe.

Simulationen ermöglichen eine Vorhersage der entste-

henden Oberflächenprofile bei unterschiedlichen Frequenzen und Phasenlagen der überlagerten Relativbewegung (Abb. 2). Die Relativbewegung zwischen Fräsermittelpunkt und Werkstück ist im Bild jeweils mit einer dünnen Linie, die entstehende Oberfläche mit einer dicken Linie gezeichnet. Die farbigen Punkte markieren die Zeitpunkte des Zahneingriffs der in der entsprechenden Farbe gezeichneten Schneide. Auch die auf der Werkstückoberfläche zurückbleibenden Rillen sind farblich entsprechend der sich jeweils abbildenden Schneide gekennzeichnet.

Die Simulationen machen deutlich, daß nicht für jede Schwingungsfrequenz eine ungleichförmige Abfolge der Bearbeitungsritzen auftritt. Schwingungen mit Zahneingriffsfrequenz und deren Vielfache bewirken lediglich eine quasistatische Verschiebung der Niveaulage der Werkstückoberfläche und keine ungleichförmige Rillenabfolge. Zu jedem Zeitpunkt eines Zahneingriffs haben Werkstückoberfläche und Werkzeugachse die selbe Relativlage (Abb. 2a). In gleichem Maße kann gefolgert werden, daß diese Schwingungskomponenten sich nicht auf das Standzeitverhalten auswirken, da die Spandicke sich offensichtlich während der Bearbeitung nicht ändert, Unwuchtschwingungen, d. h. Schwingungen mit Werkzeug-Drehfrequenz führen zu einer ungleichförmigen Rillenabfolge, sofern die Amplitude unterhalb eines bestimmten Grenzwertes liegt (Abb. 2b). überschreitet die Amplitude der Unwucht diesen Grenzwert, so bildet sich nur noch eine Schneide auf der Werkzeugoberfläche ab. Man spricht dann auch von einem Einmesserfinish (Abb. 2c). Ein Einmesserfinish kann auch durch einen Überstand einer einzelnen Schneide verursacht wer-

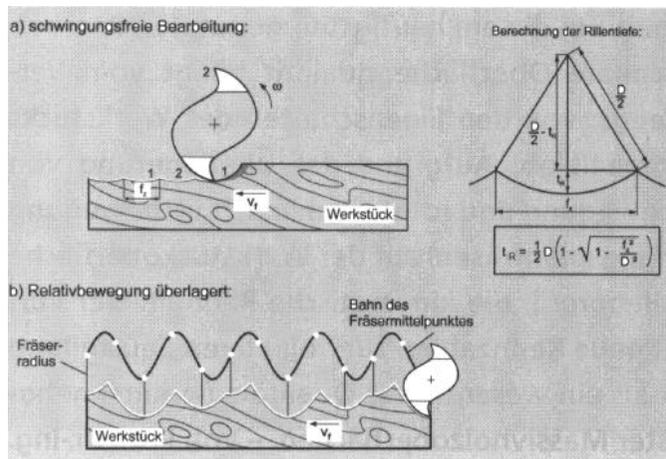
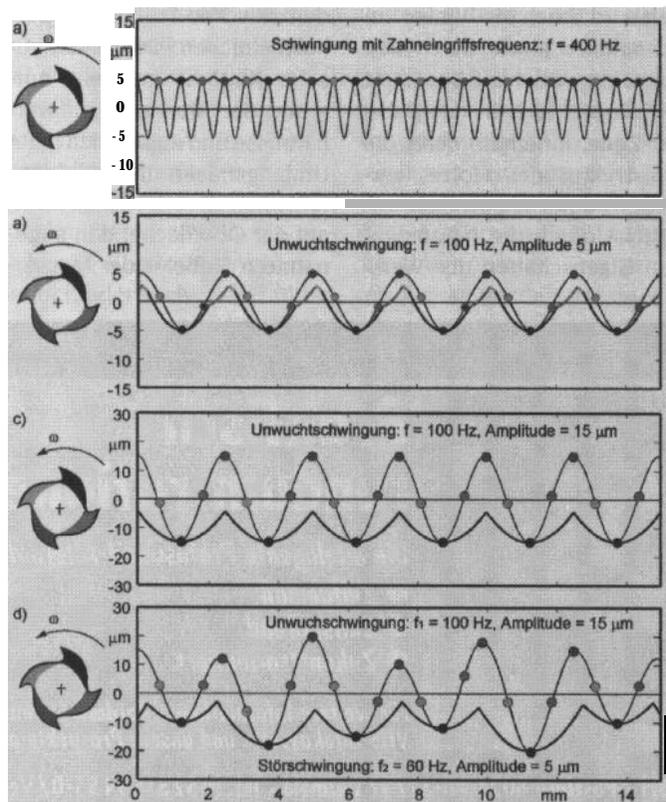


Abb. 1: Oberflächenentstehung beim Umfangsplanfräsen

Abb. 2: Oberflächensimulation: Oberflächenprofile bei Bearbeitung mit überlagerten Schwingungen. $n = 6000 \text{ min}^{-1}$; $v_f = 15 \text{ m/min}$; $D = 140 \text{ mm}$; $z = 4$.



den. Beim Hobeln und Profilieren auf Kehlmaschinen liegt aufgrund der Größe der Unwuchtamplitude bzw. aufgrund ungleicher Messerflugkreise in den meisten Fällen ein Einmesserfinish vor [6]. Eine Unwuchtschwingung bewirkt in diesem Fall keine ungleichförmige Rillenabfolge, sondern, wie auch eine Schwingung mit Zahneingriffsfrequenz, lediglich eine quasistatische Maßabweichung. Liegt aufgrund der Größe der Unwuchtamplitude oder eines Schneidenüberstands ein Einmesserfinish vor, bewirken nur Schwingungen mit einer von der Drehfrequenz und deren ganzzahligen Vielfachen abweichenden Frequenz ein ungleichförmiges Oberflächenbild [Abb. 2d]. Der Anteil dieser die Oberflächenqualität beeinträchtigenden Schwingungskomponenten an der Gesamtschwingungsenergie ist in der Regel vergleichsweise gering, was oft dazu führt, daß ihre Bedeutung für die Oberflächenqualität falsch eingeschätzt wird und demzufolge falsche Optimierungsziele verfolgt werden. Eine Optimierung der Prozeßdynamik muß vorrangig darauf zielen, die Ursachen für die die Oberflächenqualität mindernden Schwingungen zu beseitigen bzw. deren Übertragungswege zur Wirkstelle hin zu optimieren.

Messen der kinematischen Rauheit
Sowohl für eine objektive Beurteilung des Qualitätsmerkmals „gleichmäßige Rillenabfolge“ als auch für die Schwingungsanalyse anhand einer bearbeiteten Oberfläche ist es unabdingbar, die kinematische Rauheit meßtechnisch zu erfassen. Bei gefrästen Massivholzoberflächen ist die kinematische Rauheit von einer fertigungstechnisch bedingten Rauheit sowie von der Strukturrauheit überlagert. Die fertigungstechnisch be-

dingte Rauheit wird durch die Winkel am Schneidkeil sowie durch den Schneidenverschleiß bestimmt und äußert sich in der Dicke der Zone, innerhalb derer die Zellstruktur des Holzes zerstört wird [2]. Die Strukturrauheit ist durch die inhomogenen Eigenschaften des Werkstoffs gegeben. Sie äußert sich in der Porigkeit der Oberflächen sowie in Unterschieden zwischen Früh- und Spätholzbereichen.

Poren in der Oberfläche und aufstehende Fasern weisen beispielsweise bei Buche oft das drei- bis siebenfache der Wellentiefe t_d gemäß Gleichung (1) auf. Dies führt dazu, daß anhand der gemessenen Oberflächenprofile die Bearbeitungsrislen nicht erkennbar sind, obwohl diese visuell im Schräglicht deutlich wahrgenommen werden [7]. Optische Meßverfahren sind in der letzten Zeit immer weiter verfeinert worden [8, 9], da aber tastende Rauheitsmeßgeräte allgemein üblich und in der Industrie weit verbreitet sind, soll auch hier ein nach dem Bezugsflächentastverfahren (DIN 4772) arbeitendes Gerät eingesetzt werden. Demzufolge muß die Vorgehensweise beim Abtasten der Oberfläche angepaßt werden, um die kinematische Rauheit meßtechnisch zu erfassen.

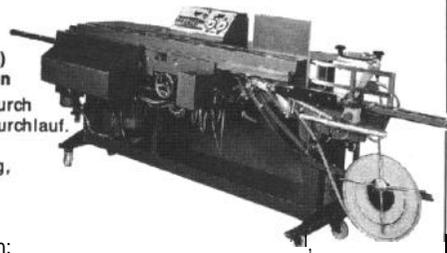
Bereits in einem früher erschienenen Beitrag [10] wurden die optimalen Abtastbedingungen zur Erfassung der kinematischen Rauheit bei Massivholzoberflächen ausführlich diskutiert. Durch die Verwendung von Sondertastern mit schneidenförmiger Tastspitze (Schneidenbreite senkrecht zur Tastrichtung: $0,8 \text{ mm} < b < 1,6 \text{ mm}$, Schneidenradius in Tastrichtung: $r = 2,5 \text{ }\mu\text{m}$) und durch eine signifikante Erhöhung der Tastkraft ($70 \text{ mN} < F_{\perp} < 200 \text{ mN}$) kann der Einfluß der überlagerten Rauheitskomponenten weitestgehend unterdrückt werden. Die geänderten Abtast-

Kantenanleimmaschine »Kantenfix«

mit senkrechtem Werkstücksdurchlauf.
Die ideale Maschine für jede Betriebsgröße.

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

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



Fordern Sie Prospekte an:

BMS Bleich
HOLZBEARBEITUNGSMASCHINEN

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

HOB-KENNZIFFER 43

Holzstaub absaugen

Die fahrbaren Entstauber **DUSTOMAT** erfüllen alle Anforderungen der TRGS 553 (Holz) und der Holz-BG. Leicht bedienbar, einfach zu entsorgen. Halten Atemluft, Maschinen und Böden sauber. Vier Größensorten. Anschlußmöglichkeiten von $\varnothing 63$ bis $\varnothing 160 \text{ mm}$.

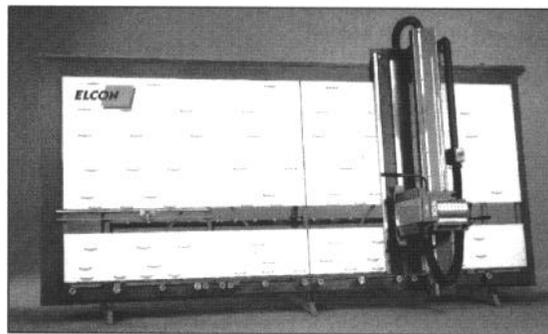


ESTA Gotenstraße 195,
89250 Senden, Tel. 07307 / 8040, Fax 7153

Angebot
DUSTOMAT anfordern

HOB-KENNZIFFER 44

Gutes muß nicht teuer sein.



ELCON / Formatplattensägen

Wir bieten mit der ELCON-Formatplattensäge saubere Vorteile zu einem sauberen Preis.

Bitte fordern Sie kostenlos detaillierte Informationen und unseren Händlernachweis an.

GERONNE GmbH
Coesfelder Holzbearbeitungsmaschinen

Borkenerl Straße 130 Industriegebiet West
D - 48653 Coesfeld
Telefon 0 25 41/700 53 Fax 0 25 41/700 50



Strausak AG

Hauptstraße 22
CH-2554 Meisberg-Biel
Telefon 032/87 22 22
Fax 032/87 23 11

HOB-KENNZIFFER 45

bedingungen wirken wie ein mechanisches Filter, das die Einflüsse von Poren und aufstehenden Fasern unterdrückt. Es wurde bereits gezeigt, daß in einem so abgetasteten Oberflächenprofil die Hobelschläge nicht nur deutlich erkennbar sind, sondern auch hinsichtlich der Rillennlänge und -tiefe sowie der Abfolge der Niveaulagen gut mit einem in einem homogenen Kunststoffmaterial gemessenen Referenzprofil gut übereinstimmen,

Bewerten der kinematischen Rauheit Kennzahlen für die objektive Beurteilung der Qualität gefräster Massivholzoberflächen müssen den visuellen Eindruck des Betrachters möglichst gut wiedergeben. Eine Möglichkeit zur Beurteilung der kinematischen Rauheit ist der Talquotient, das Verhältnis von Wellentiefe und Talweite (Rillennlänge), der die Sichtbarkeit einzelner Messerschläge wiedergibt [11]. Die Rillenungleichförmigkeit ∂ betrachtet dagegen zwei benachbarte Messerschläge i und $i+1$ und bewertet unterschiedliche Rillennlängen:

$$\partial = \frac{2 \cdot |s_{i+1} - s_i|}{s_{i+1} + s_i} \quad (2)$$

Eine Rillenungleichförmigkeit null bedeutet, daß beide betrachteten Rillen exakt die gleiche Länge haben. In dem Fall, daß eine Rille gerade verschwindet ($s_i = 0$) nimmt ∂ einen Wert von 200% an. Eine Rillenungleichförmigkeit ∂ von 100% zeigt an, daß eine der betrachteten Rillen die dreifache Länge der anderen Rille aufweist.

Die Bewertung der kinematischen Rauheit eines Oberflächenprofils anhand der Rillenungleichförmigkeit ∂ hat den Nachteil, daß nur zwei nebeneinanderliegende Messerschläge betrachtet werden, daß also der Kennwert nur lokale Gültigkeit hat. Der visuel-

le Eindruck, den ein Betrachter von einer Oberfläche erhält, wird aber nicht von nur zwei Rillen bestimmt, sondern der Betrachter bewertet die gesamte Oberfläche. Eine aussagekräftige Kennzahl muß demnach auch die gesamte Meßstrecke in Betracht ziehen.

Neben dem arithmetischen Mittelwert aller Werte ∂_i innerhalb einer betrachteten Meßstrecke gibt auch die analog zum Rauheitskennwert R_z gebildete gemittelte Rillenungleichförmigkeit den visuellen Eindruck der Meßstrecke gut wieder. Dazu wird die Meßstrecke in fünf Teilbereiche

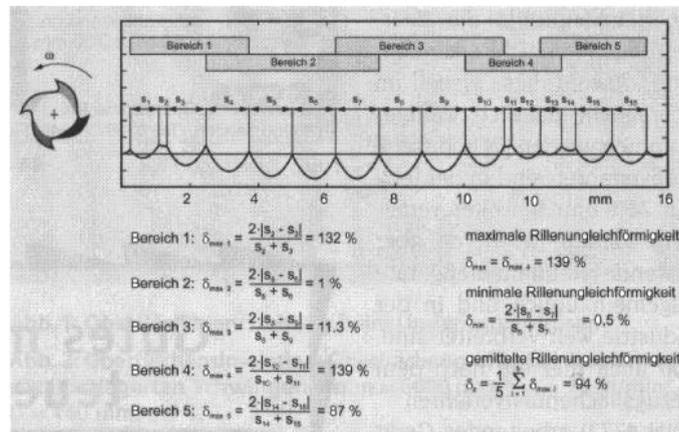


Bild 3: Ermittlung der Kennwerte zur Bewertung der Rillenungleichförmigkeit: $z \partial_{\max,i} \min$

mit jeweils derselben Anzahl von Rillen aufgeteilt und für jeden Teilbereich $i = 1, \dots, 5$ die maximale Rillenungleichförmigkeit $\partial_{\max,i}$ bestimmt. Die gemittelte Rillenungleichförmigkeit ∂_z ist dann das arithmetische Mittel dieser fünf Maximalwerte:

$$\partial_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \partial_{\max,i} \quad (3)$$

Zusätzlich zu diesen beiden Kennwerten können noch die maximale und die minimale Rillenungleichförmigkeit ∂_{\max} , ∂_{\min} entlang der gesamten Meßstrecke angegeben werden (Abb. 3). Wie im Bild dargestellt, überschneiden sich die Bereiche um jeweils eine Rille. Der Grund hierfür ist in der Berechnungsvorschrift (2)

für die Rillenungleichförmigkeit zu sehen, nach der immer zwei benachbarte Rillen zur Berechnung der Rillenungleichförmigkeit herangezogen werden. Ohne Bereichsüberschneidung wäre es nicht möglich, die Ungleichförmigkeiten an den Bereichsgrenzen mit einzubeziehen. Fehler beim Bestimmen von ∂_i wären u. U. die Folge.

Zusammenfassung
Schwingungen während der Bearbeitung beeinträchtigen beim Umfangsfräsen das Oberflächenbild erheblich. In Abhängigkeit von der Frequenz, der Amplitude und der

mit einem nach dem Bezugsflächentastverfahren arbeitenden Meßgerät läßt sich der störende Einfluß von Poren und aufstehenden Fasern bei Massivholzoberflächen unterdrücken

Für die Beurteilung der Bearbeitungsqualität können verschiedene Kennzahlen herangezogen werden. Die Länge und Tiefe der Bearbeitungsritzen hängen grundsätzlich vom gewählten Vorschub je Zahn und vom Werkzeugdurchmesser ab. Der Talquotient nach Neusser, das Verhältnis von Rillentiefe und Rillennlänge, spiegelt die Sichtbarkeit der Messerschläge wieder. Um die Gleichförmigkeit des Fräsbildes zu bewerten, eignet sich die gemittelte Rillenungleichförmigkeit ∂_z . Zusammen mit der Angabe der maximalen und der minimalen Rillenungleichförmigkeit ∂_{\min} bzw. ∂_{\max} innerhalb der betrachteten Meßstrecke gibt die gemittelte Rillenungleichförmigkeit ∂_z sehr gut den Gesamteindruck des betrachteten Oberflächenprofils wieder.

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. 6 10) erarbeitet, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) über die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) gefördert wurde.

Literatur:

Die Literatur-Hinweise zu diesem Beitrag können aus Platzgründen erst mit dem zweiten Teil veröffentlicht werden, Sollten Sie früher darüber verfügen müssen, fordern Sie diese bitte an.