

# Berührungsloses Meßverfahren zur Beurteilung der Struktur bearbeiteter Holzoberflächen

Die Beurteilung der Struktur bearbeiteter Oberflächen von Holz und Holzwerkstoffen ist meßtechnisch eine anspruchsvolle Aufgabenstellung. So ist bei mechanisch abtastenden Verfahren die Größe des Radius der Tastspitze und deren Kegelform ein entscheidender begrenzender Faktor dafür, welche Feinheiten der abgetasteten Oberfläche noch erfaßt werden können. Beispielsweise sind offene angeschnittene Poren kaum darstellbar bzw. von anderen „Oberflächenfehlern“ schwer zu unterscheiden. Ebenso spielt die Auflagekraft der Tastspitze eine das Meßergebnis beeinflussende Rolle, da es gegebenenfalls zu Deformationen oder Zerstörung der empfindlichen Zellstruktur der Oberfläche kommen kann. Ferner erlauben Tastschnittgeräte im allgemeinen nur ein linienförmiges Abtasten der Holzoberfläche. Eine Darstellung der räumlichen Struktur der zu beurteilenden Oberfläche ist nur mit erheblichen Zeitaufwand möglich. Der Firma UBM aus Ettlingen ist es gelungen, ein Meßverfahren für höchste Ansprüche zu entwickeln, das auf einem berührungslosen Meßprinzip beruht (Abb. 1). - Von Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel, Dr.-Ing. habil. Johannes Tröger, Dipl.-Ing. Andreas Fischer und Dipl.-Phys. Ralf Steinhoff <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Dr.-Ing. habil. Johannes Tröger ist Leiter des Versuchsfeldes für Holzbearbeitung am Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart. Die Gruppe von Dipl.-Ing. Andreas Fischer beschäftigt sich mit Modalanalyse und konstruktiver Maschinenoptimierung; ebenfalls am IfW Leiter Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel. Dipl.-Phys. Ralf Steinhoff ist bei der UBM Messtechnik GmbH, Ettlingen, für Applikationen zuständig.

## Optisches Meßsystem

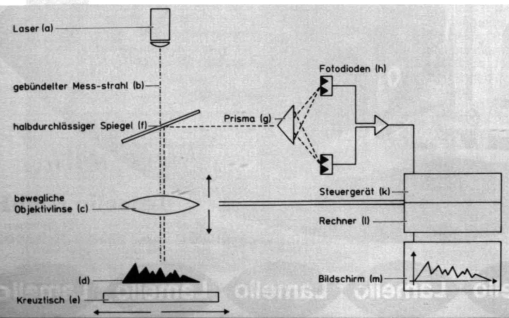
Kernstück des optischen Meßsystems ist ein Halbleiterlaser (a), dessen Licht eine Wellenlänge von 780 nm aufweist. Der Meßstrahl wird mit Hilfe einer beweglichen Objektivlinse (c) auf der Oberfläche des zu beurteilenden Werkstückes fokussiert. Der Durchmesser des Lichtstrahles beträgt im Brennpunkt etwa 1,2 µm. Ein halbdurchlässiger Spiegel (f) lenkt den Strahl durch ein Prisma (g) auf zwei Fotodiodenpaare (h), deren Differenzsignale die bewegliche Linse regeln und die Fokussierung des Laserstrahles auf die Objektivlinse sicherstellen.

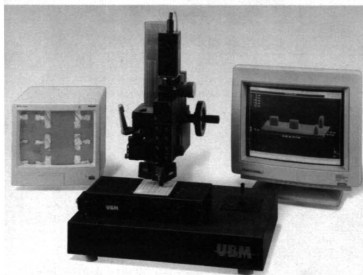
Zwei Gleichstrommotoren verschieben den Kreuztisch (e), auf dem das zu beurteilende Werkstück befestigt ist. Durch die Bewegung kommt es, bedingt durch das Relief der Oberfläche, zu einer Defokussierung. Diese wird von den Fotodioden registriert und in eine Nachregelung der Objektivlinse umgesetzt. An jedem Meßort entspricht damit die relative Lage der Objektivlinse dem entsprechenden Höhenwert der Oberfläche. Die aktuelle Höhenlage der Linse wird an jedem Meßort registriert und man erhält so ein exaktes Abbild des abgetasteten Profils. Eine maximale Meßrate von 1000 Hz erlaubt ein schnelles Abschannen der Oberfläche. Meßwertfassung und Auswertung erfolgt über ein komfortables und anpassungsfähiges Rechenprogramm. Während der Messung kann gleichzeitig die Objekt Oberfläche mit einer TV-Kamera durch den Sensor hindurch am Ort des Meßfleckes erfolgen, was eine unmittelbare Beurteilung und Zuordnung markanter Profilstrukturen erlaubt. Die Meßeinrichtung ist in Abb. 2 dargestellt.

## Technische Daten

Meßprinzip	dynamische Fokussierung
Meßbereich	± 500 µm, 50 µm
Laserleistung	mehrere Leistungsstufen mit automatischer Umschaltung
Auflösung	10 nm, aber auch 2 bis 3 mm möglich
Meßrate	130 l/s (bzw. 100/s), 1200 l/s
Linearität	besser als 1% des Meßbereiches
Meßwertspeicher	bis zu 30 K
Meßgrößen	Profil, Reflexion, Fokusfehlersignal
Schnittstelle	V. 24, Analog, PC-Bus

Abb. 1: Prinzip des opto-elektronischen Meßsystems Mikrofokus





Meßfleckdurchmesser etwa  $1,2 \mu\text{m}$  (optional auch  $< 1 \mu\text{m}$ )  
 Meßabstand 2 mm  
 Laserschutzklasse 1

▲ Abb. 2: Optisches Meßsystem Mikrofoc

**Beurteilungsbeispiele bearbeiteter Holzoberflächen**

Das menschliche Auge ist ein sehr kritischer Beobachter. So werden beispielsweise Messerschläge der Größenordnung  $3 \mu\text{m}$  durchaus sehr gut erkannt, wogegen Oberflächenfehler im Rauheitsbereich der gleichen Größe nicht mehr wahrgenommen werden.

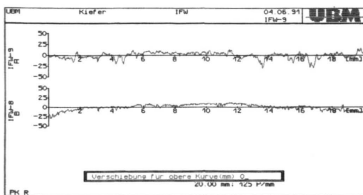
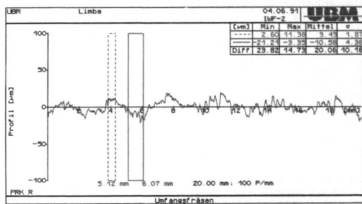
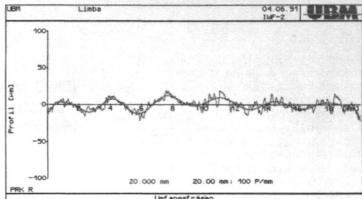
Welche Wellenlängen und Amplitudenhöhen besonders gut sichtbar sind, wurde bisher nicht systematisch untersucht. Mit dem Meß- und auswertesystem Microfocus können alle werkstoff-

► Abb. 6: Längsschrieb Umfangsfräsen ( $z = 1$ ,  $12 \text{ m/min}$ ,  $n = 2880 \text{ min}^{-1}$ )

bedingten Rauheiten aus der Darstellung herausgefiltert werden, so daß nur noch die durch Werkzeugfehler, Schwingungen aller Art und durch andere Störungen bedingte Wellen übrig bleiben, die nun im Zusammenhang mit Schwingungsmessungen, Beurteilung der Werkzeugfehler usw. ausgewertet werden können.

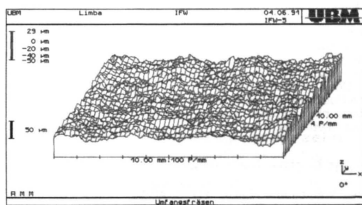
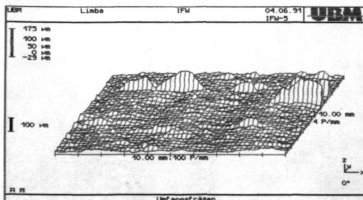
**Vergleich gefräster und thermogelähter Oberflächen**

Abb. 3 zeigt gefräste (oben) und anschließend thermogelähtete (unten) Vollholzoberflächen im Seitenlicht [1]. Obwohl durch den Thermoglättvorgang visuell keine Messerschläge mehr erkennbar sind, zeigt der Tastschrieb beim gelähteten Werkstück noch eine



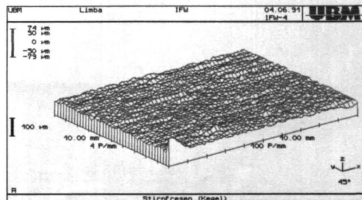
▲ Abb. 4: Ungelähtete und gelähtete Vollholzoberfläche (Längsschnitt in X-Richtung)

▼ Abb. 8: Innenansicht der Holzoberfläche



▲ Abb. 7: Räumliche Darstellung der Oberflächenstruktur einer durch Umfangsfräsen bearbeiteten Holzoberfläche (vergleiche Abb. 5, rechts)

▲ Abb. 9: Räumliche Struktur einer Vollholzoberfläche, die durch kegelstumpfförmige Planfräser erzeugt wurde



Reihe von Formfehlern, die aber vom menschlichen Auge nicht mehr so gravierend beurteilt werden. (Abb. 4).

Ein weiteres Beispiel zeigt eine nach dem herkömmlichen Umfangsplanfräsvorgang ( $z = 1, u = 12 \text{ m/min}, n = 3000 \text{ }^1\text{min}$ ) erzeugte und eine mit kegelstumpfförmigen Planfräswerkzeugen [2] bearbeitete Vollholzoberfläche (Abb. 5).

In Abb. 6 ist dargestellt, wie mit dem Meßsystem (Beispiel Umfangfräsen) Rauheiten eliminiert werden können (unten). Die Wellenlänge beträgt knapp 4 mm, dies entspricht dem Verhältnis von Vorschubgeschwindigkeit zur Drehzahl (vergleiche Abb. 5, rechts).

Über frei wählbare Abschnitte des Kurvenzuges können Fenster gelegt werden (im Beispiel rot und blau), die Ermittlung der Maximal-, Minimal- und Mittelwerte in den gelegten Fenstern erfolgen automatisch und werden im Skript mit ausgedruckt (vergl. Abb. 6).

Die Struktur der Oberfläche ist darstellbar, wenn die Oberfläche Linie für Linie (im Beispiel vier Linien/mm in Y-Richtung, 100 Meßpunkte/mm in X-Richtung) abgetastet wird. Die Software gestattet eine farbliche Zuordnung verschiedener Höhenbereiche, wodurch die räumliche Darstellung der Oberflächenstruktur plastisch wirkt (Abb. 7).

Der gewählte Meßbereich beträgt 10 mm x 10 mm. Deutlich sind Wellentäler und Wellenberge erkennbar. Wesentlich glatter ist eine Vollholzoberfläche, die mit kegelstumpfförmigen Planfräswerkzeugen erzeugt wurde (Abb. 9).

Die Software macht möglich, was mit mechanischen Mitteln überhaupt nicht denkbar ist. Man kann sich gewissermaßen die bearbeitete Holzoberfläche von innen (unten) ansehen (Abb. 8).

Der Laserstrahl „dringt“ auch in offene Holzporen ein, erkennbar an den großen, blasenartigen Ausstülpungen in der Oberfläche.

Wenn gewünscht, gestattet die Software auch einen beliebigen Schnitt durch die Oberfläche, beispielsweise in X-Richtung, Y-Richtung oder mit einem frei wählbaren Winkel zur X-Achse (bzw. Y-Achse). Ein derartiger Schnitt in X-Richtung ist in Abb. 10 dargestellt.

Ein Vergleich mit Abb. 6 zeigt deut-

lich, daß es beim Fräsen mit einem kegelstumpfförmigen Werkzeug keine systematischen Formfehler (z. B. Wellen) gibt, weshalb diese Oberfläche auch deutlich glatter erscheint.

Der Abbildungsmaßstab kann auch verändert und den Erfordernissen angepaßt werden (Abb. 11). Automatisch werden die unterschiedlichen Rauheits-

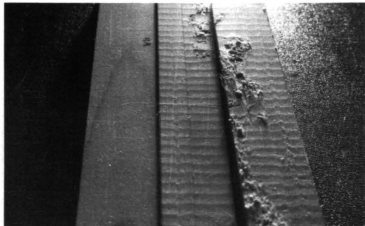
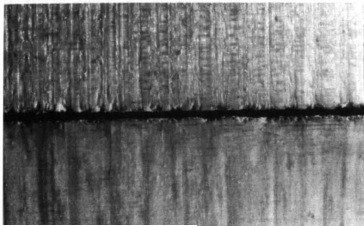
werte aus den Meßwerten ermittelt.

Interessant ist die Darstellung einer mit einer Kreissäge erzeugten Fläche, die unter verschiedenen Richtungen betrachtet werden kann (Abb. 12).

Die Rillenbildung ist gut erkennbar, sie liegt im Bereich um 0,04 mm und ist mit der Software auch exakt bestimmbar. Ein Längsschnitt in X-Richtung

Abb. 3: Gefräste und thermogeplättete Vollholzoberflächen

Abb. 5: Bearbeitungsbeispiele Umfangsplanfräsen und Planfräsen mit kegelstumpfförmigen Werkzeugen (Quelle: [2])



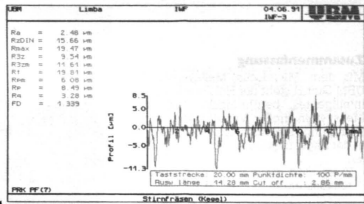
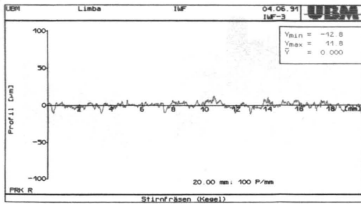
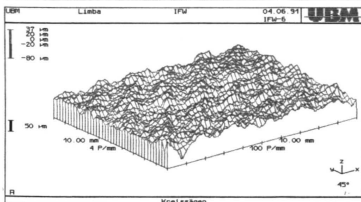


Abb. 10 (links, oben): Längsschnitt, Fräsen mit kegelförmigem Werkzeug

Abb. 11: Veränderung des Abbildungsmaßstabes (vergl. Abb. 10)



zeigt, daß die Rillen nicht gleichmäßig sind, was vermuten läßt, daß das Kreisgäwerkzeug schwingt.

Das Meßsystem Microfocus ermöglicht auch eine landkartenähnliche Darstellung des Oberflächenprofils mittels Höhenlinien. Ein Beispiel aus der Elektronikindustrie zeigt Abb. 14.  
(Weiter auf Seite 24)

Abb. 12: Mit Kreisgäwerkzeug erzeugte Fläche

Abb. 14: Komplexe Möglichkeiten der Darstellung von Oberflächen (Bildnachweis: Verfassers, UBM)

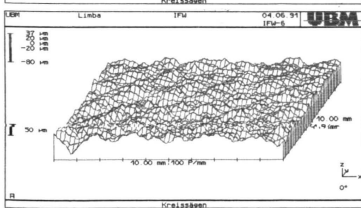
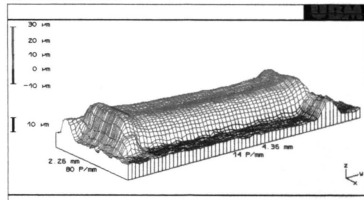
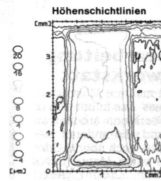
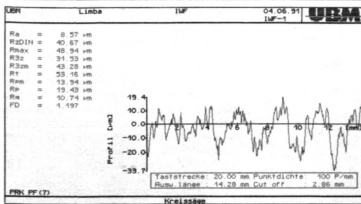
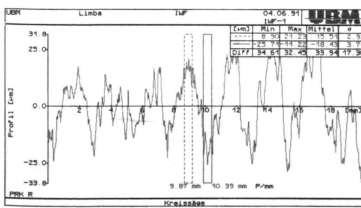
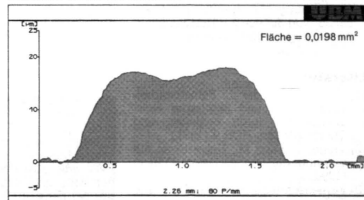


Abb. 13: Längsschnitt einer mittels Kreisgäverfahren erzeugten Vollholzerfläche

### Dickschicht-Widerstand



### Querschnitt Dickschicht-Widerstand



**Zusammenfassung**

Mit dem Microfocus Meßsystem der UBM GmbH steht der Holzforschung ein intelligentes, berührungslos tastendes Meßsystem großer Variationsbreite zur Verfügung. Die installierte Software ist in der Lage, folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Zwei- und dreidimensionale Traganteilsbestimmung (tpa, ctp).
- Berechnung des freien Volumens zwischen einer Auflageebene und der kompakten Holzstruktur, etwa zur Bestimmung der Lackmengenaufnahme in den feinen Strukturen der Oberfläche.
- Berechnung der fraktalen Dimension, die mit Einschränkung als Maß für die Porosität dienen kann.
- Berechnung des zwei- und dreidimensionalen Frequenzspektrums der Oberflächenwellen.
- Umfangreiche Filterfunktionen, wie Hoch- und Tiefpaßfilter, Median- oder Ordnungsfiler, Peak- und Tastnadel-simulationfilter und Mittelungsalgorithmen für zwei- und dreidimensionale Profile.
- Bestimmung der Autokorrelations- und Kreuzkorrelationsfunktionen für die gemessene Oberfläche, zum Nachweis langreichweitiger Strukturmerkmale, die sonst möglicherweise in der unkorrelierten Rauheit verborgen bleiben.
- Differenzierung, Steigungsbestimmung und Toleranzgrenzenwahl.
- Möglichkeiten der Verknüpfung unterschiedlicher Messungen.
- Komfortable Makroprogrammierung zur Erstellung automatischer Meß- und Auswerteabläufe.
- Ebenheitsbestimmung.
- Berechnung der „wahren“ benetzbaren Oberfläche, wodurch Ansätze zur Bestimmung der „spezifischen Oberfläche“ von Spänen zur Holzwerkstoffherstellung möglich werden.
- FFT-Analysen usw.

**Literatur**

- [1] Heisel U., Tröger J.: Feinstbearbeitung ebener und profilierter Holzoberflächen durch Schleifen und Thermoglätten, HOB 9 (1991).
  - [2] Tröger J., Lang M.: Hobelfräsen mit verminderter Lärmemission, HOB 11 (1990).
  - [3] Firmenschriften der UBM GmbH, Ettlingen.
- HOB-KENNZIFFER ..... **31**