

Zellescher Weg 24
01217 Dresden

Telefon 0351/4662-0
Telefax 0351/4662-211

Entwicklung eines staubfreien Verfahrens
zum Glätten profilierter Bauteile
aus Vollholz und/oder Holzwerkstoffen

Abschlußbericht

1999



INSTITUT

Institut für Holztechnologie Dresden
gemeinnützige GmbH

AUFGABE

Entwicklung eines staubfreien Verfahrens
zum Glätten profilierter Bauteile aus
Vollholz und/oder Holzwerkstoffen

Az.: 08086

FÖRDERINSTITUTION

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

BEARBEITUNGSZEITRAUM

11/97 – 10/99

RESSORTLEITER

Dr.-Ing. I. Fuchs

VERANTW. BEARBEITER

Dipl.-Ing. (FH) C. Sandig

Dipl.-Ing. Ch. Raatz

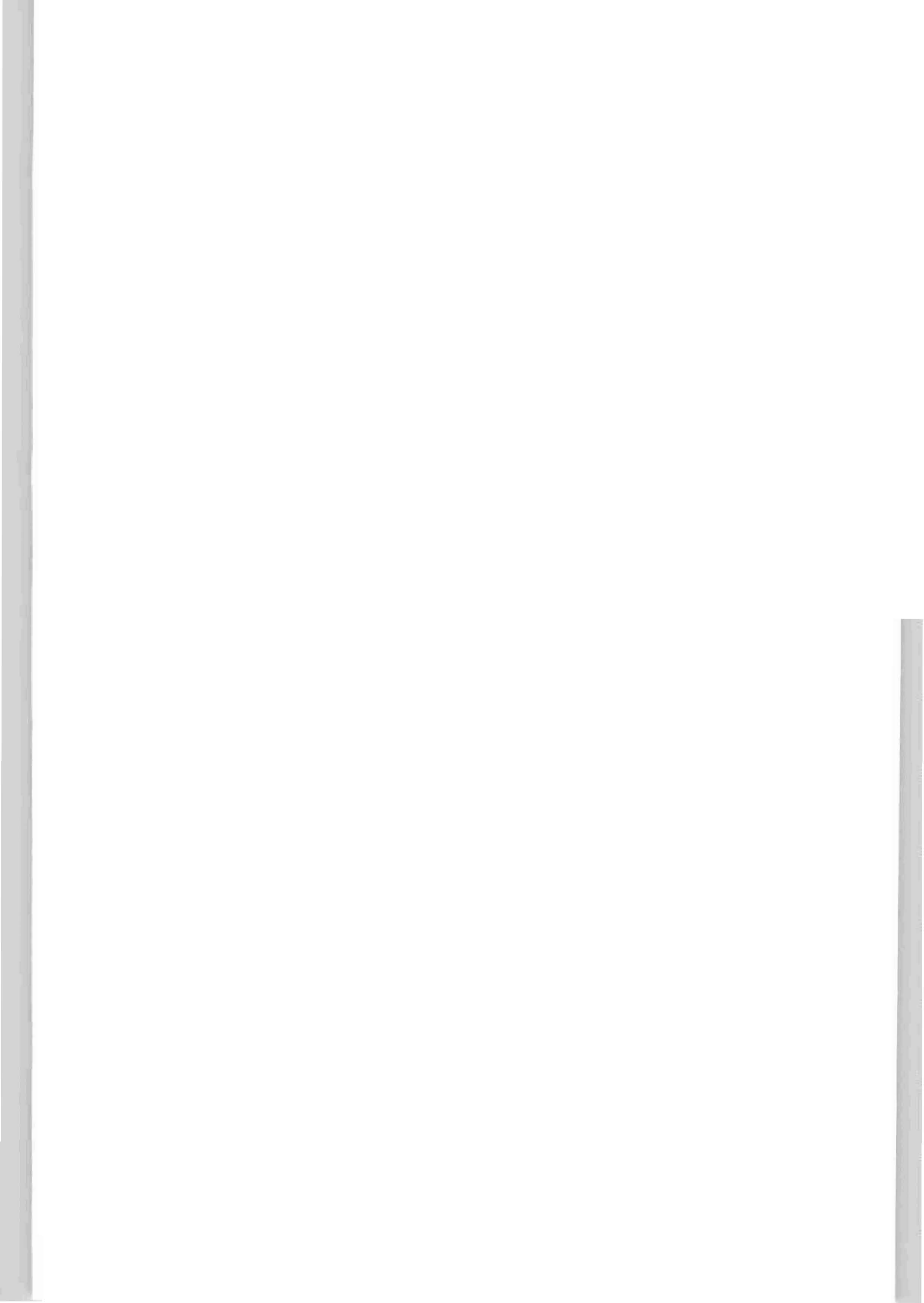
UNTERSCHRIFT



Dr. rer. nat. M. Scheithauer
Geschäftsführerin

DATUM

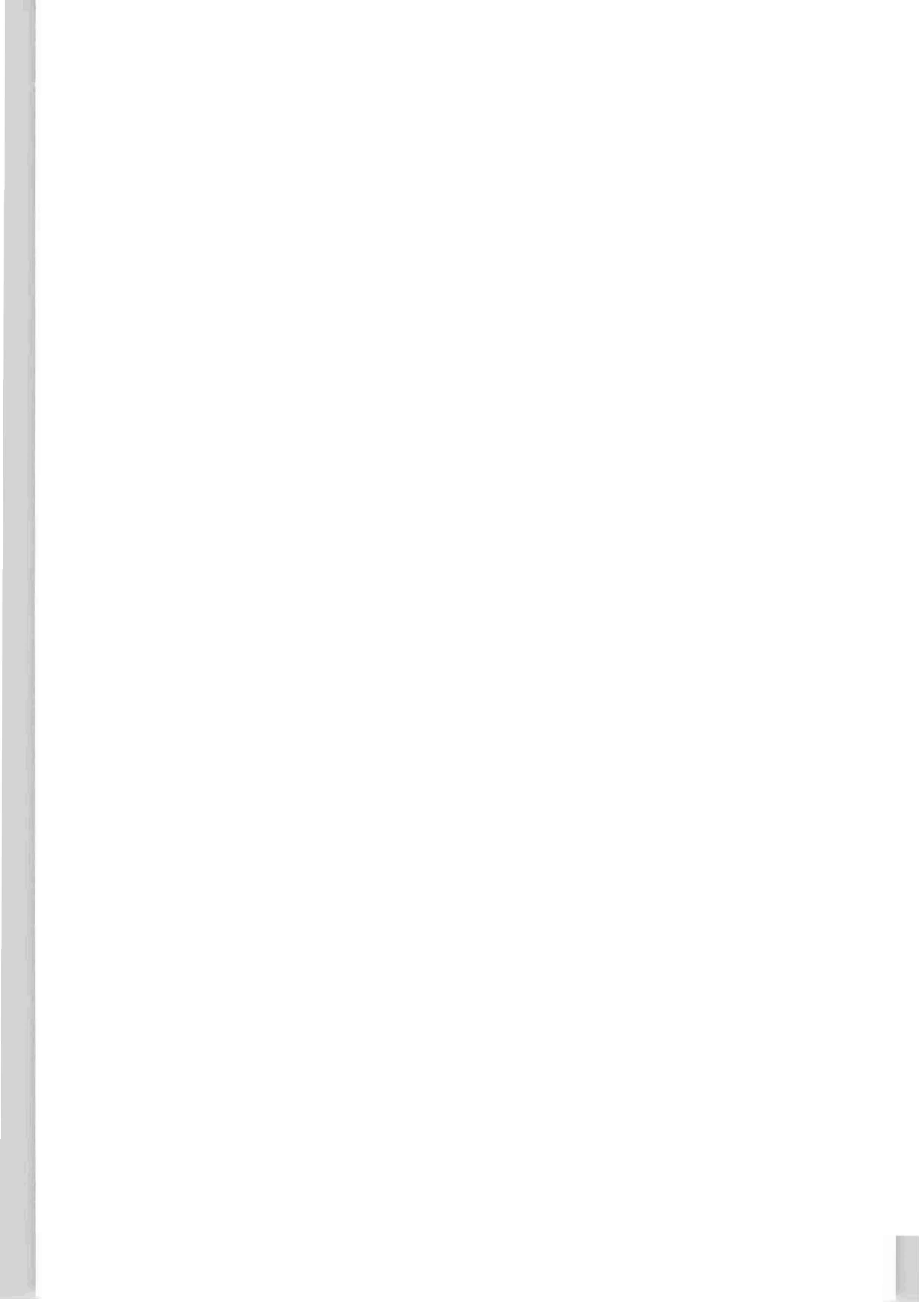
Dresden, den 31.01.2000



Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	08086	Referat	(21/0)	Fördersumme	197.475,00 DM
Antragstitel	Entwicklung eines staubfreien Verfahrens zum Glätten profilierter Bauteile aus Vollholz und/oder Holzwerkstoffen				
Stichworte	Schwerpunkt-Holz, Holz , Arbeitsschutz , Emission , Energie , Lack				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
2 Jahre	01.11.1997	31.10.1999			
Zwischenberichte	31.05.1998, 31.12.1998,				
Bewilligungsempfänger	Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH Zellescher Weg 24 01217 Dresden			Tel 0351/4662-0	
				Fax 0351/4662-211	
				Projektleitung Frau Dr. Fuchs	
				Bearbeiter Herr Dipl.-Ing. C. Sandig	
Kooperationspartner					
Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens					
Ablösung des Profilschleifens, das z. Z. teils von Hand, teils auf Profilschleifmaschinen durchgeführt wird, durch ein neues staubloses Verfahren, das mindestens die gleiche Oberflächenqualität garantiert. Damit wird eine Vereinfachung der nachfolgenden Oberflächenbehandlung angestrebt. Es sollen ein bis zwei Auftragsvorgänge (Versiegeln, Füllen oder Lackieren) sowie mehrere Zwischenschleife eingespart werden und somit außer Arbeitszeit auch der Anfall von Schleifstaub und Lösemittel reduziert werden.					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Bau elektrisch heizbarer Glättwerkzeuge mit Leistungssteuerung, Anbau der Werkzeuge am Support einer CNC-Oberfräsmaschine • Durchführung von Glättversuchen (Variation der technologischen Parameter, Werkzeugtemperatur, Vorschubgeschwindigkeit), Bestimmung der auftretenden Kräfte, Messung der Rauheit und der Mikrohärtigkeit der geglätteten Oberflächen • Durchführung von Beschichtungsversuchen mit Flüssiglack verschiedener Varianten, einschließlich Hydrolacke unter verschiedenen Auftragsvarianten von Anzahl der Aufträge, Auftragsmengen bzw. Schichtdicken sowie Untersuchungen des Zusammenhangs von Glättqualität und Qualität/Haftfestigkeit der Beschichtung • Untersuchungen zum Auftreten gasförmiger Emissionen beim Glätten • Untersuchungen zur Geometrie der Glättwerkzeuge in Abhängigkeit von der Profilform, Ableitung eines statisch gesicherten Zusammenhanges zwischen Werkstoffdicke, Profilform (Richtung der resultierenden Karft) und Zustellung (Druck) • Entwicklung einer Temperaturregelung für die Glättwerkzeuge (PID-Regler, Fuzzy-Regler) zur Stabilisierung der Werkzeugtemperatur bei verschiedenen Werkzeugformen und Vorschubgeschwindigkeiten • Experimentelle Überprüfung der Forschungsergebnisse 					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190					



Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des abgeschlossenen Forschungsprojektes wurde an eine vorhandene CNC-Bearbeitungsmaschine ein Glättaggregat installiert, das Glättwerkzeuge mit unterschiedlichen Profilformen aufnehmen kann. Die Regelung der Werkzeugtemperatur übernimmt ein PC zusammen mit einem Thyristor-Leistungssteller.

Bei Vorschubgeschwindigkeiten bis 5 m/min sind mittels Glätten an Holzwerkstoffoberflächen hochwertige, nahezu geschlossene Profiloberflächen im Anschluß an den Fräsvorgang realisierbar. Höhere Vorschubgeschwindigkeiten sind u.U. möglich.

Der durch den Glättvorgang erreichbare Vergütungseffekt wurde an Hand unterschiedlicher Beschichtungen nachgewiesen. Bei der Beschichtung mit Folien ist der erreichte Effekt nur bei dünnen Folien sinnvoll. Signifikante Einsparungen an Arbeitsaufwand konnten bei Flüssigbeschichtungen nachgewiesen werden. Dabei ist die Beschichtung sowohl mit Lacken auf Lösemittelbasis als auch die Verwendung von Wasserlacken sinnvoll. Die Dauerhaftigkeit der Beschichtungen wurde mit Klimatests nachgewiesen und entspricht in allen Varianten einem hohen Beanspruchungsniveau.

Emissionsmessungen haben gezeigt, daß von dem Glättprozeß an sich durch die Temperatureinwirkung keine gesundheitliche Gefährdung ausgeht.

Die systematische Untersuchung der Profilform der Glättwerkzeuge ergab gleichermaßen gute Glätteffekte bei unterschiedlichen Plattentypen des untersuchten Holzwerkstoffes (Mitteldichte Faserplatte). Eine Variation der Werkzeugkorrektur ist insofern nicht erforderlich.

An weichen Massivhölzern (einheimische Laubhölzer) wurden ebenfalls sehr gute Glätteffekte erreicht. Das untersuchte Verfahren eignet sich für eine Aufwertung dieser Hölzer durch Oberflächenverdichtung und damit verbundener Erhöhung der Oberflächenhärte.

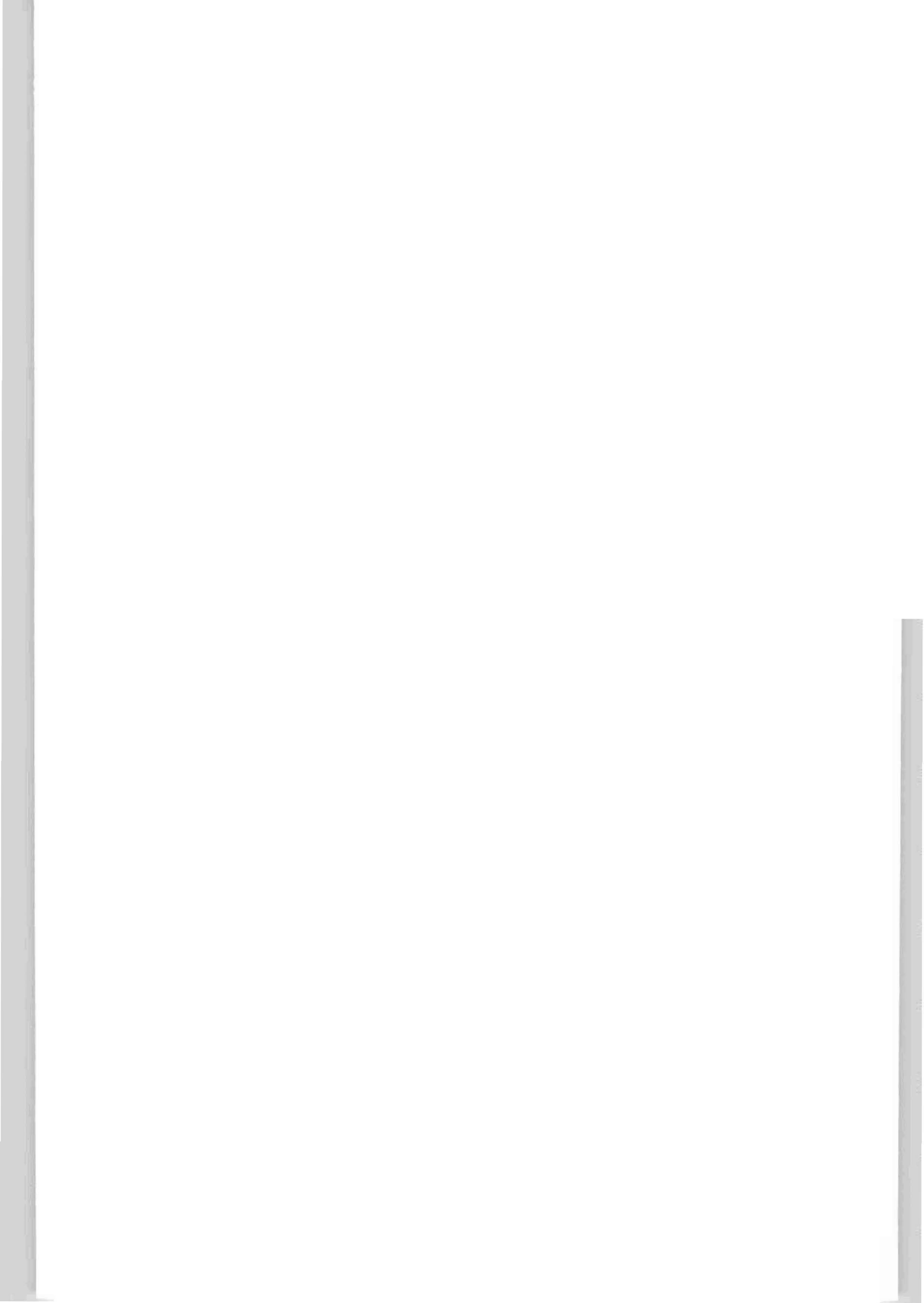
Ausgehend vom Nutzeffekt des sog. Fixglättens wird dieses Verfahren als praxistauglich eingeschätzt. Insbesondere bei der Flüssigbeschichtung kann die Anzahl der Lackschichten drastisch reduziert werden. Damit sind erhebliche Materialeinsparungen möglich. Ebenso kann auf den Holzschliff verzichtet werden, so daß gesundheitsschädigende Emissionen verhindert werden können.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des untersuchten Verfahrens wurden in Fachkreisen sowie auf internationalen Veranstaltungen in Vorträgen vorgestellt. An Hand eines Demonstrationsmodells wurden Verfahrensablauf und Nutzeffekt vergegenständlicht. Die gegenwärtigen Bemühungen konzentrieren sich auf die praktische Umsetzung des Verfahrens in Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern.

Fazit

Mit Hilfe des abgeschlossenen Förderprojektes gelang es, ein neues Thermoglättverfahren hinsichtlich seiner Eignung und Anwendbarkeit für die Praxis zu testen und technologische Randbedingungen zu erarbeiten.



Inhalt

0 Zusammenfassung.....	5
1 Einleitung.....	6
2 Stand der Technik bei den Thermoglättverfahren.....	7
3 Forschungsziele	9
4 Entwurf und Fertigung einer Glätteinrichtung	9
4.1 Versuchsmaschine BIMA 100	9
4.2 Die Glätteinrichtung.....	11
4.2.1 Konstruktion der Werkzeugaufnahme	11
4.2.2 Profilform und Beheizung der Glättwerkzeuge	12
4.2.3 Profilkorrektur	15
5 Versuche.....	18
5.1 Orientierende Stichversuche	18
5.2 Untersuchungen zum Einfluß technologischer Parameter	20
5.2.1 Ermittlung relevanter Zielgrößen	20
5.2.2 Kraftmessungen	21
5.2.3 Messung der Eigenschaften geglätteter Oberflächen	23
5.2.4 Wirkung der Prozeßparameter auf den Glättprozeß	23
5.3 Umweltrelevanz und Emissionen beim Fixglätten	26
5.4 Beschichtungsversuche	29
5.4.1 Lackierung mit Flüssigbeschichtungen.....	29
5.4.2 Beschichtung mit Folien	31
5.4.3 Verhalten im Wechselklima.....	31
6 Ergebnisse und Möglichkeiten der Umsetzung.....	34
7 Literaturnachweis	37
8 Anlagenverzeichnis	39

Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1: Prinzip des Thermoglättens	7
Abbildung 2: Geräteträger mit Sonderaggregat zum Fixglätten an der BIMA 100.....	10
Abbildung 3: Die Versuchsmaschine mit Kraftmeßeinrichtung.....	11
Abbildung 4: Aufnahmevorrichtung für elektrisch beheizte Werkzeuge zum Fixglätten...	12
Abbildung 5: Eingesetzte Glättwerkzeuge	12
Abbildung 6: Bearbeitete Profile	13
Abbildung 7: Komponenten des Regelkreises.....	14
Abbildung 8: Profilkorrektur am Beispiel des Karniesprofils.....	16
Abbildung 9: Koordinatenmeßmaschine zur Profilbestimmung	16
Abbildung 10: Rekonstruktion der Profilform in einem CAD-Programm	17
Abbildung 11: Temperaturverlauf beim Einsatz des zylindrischen Werkzeuges (Werkzeug 1)	18
Abbildung 12: Temperaturverlauf beim Einsatz des Kehlwerkzeuges (Werkzeug 3)	19
Abbildung 13: Prinzip der Kraftmessung am CNC-Bearbeitungszentrum	22
Abbildung 14: Beispiel für den Kraftverlauf beim Glätten des Kehlprofils.....	22
Abbildung 15: Vergleich der Maschinensteifigkeit beim Glätten verschiedener Profile	24
Abbildung 16: Absaughaube über der Glätteinrichtung für Emissionsmessungen	27
Abbildung 17: Probennahme- und Analysetechnik	27
Abbildung 18: Demonstrationsobjekt mit geglätteten und lackierten Frontelementen aus MDF.....	36
Tabelle 1: Physikalisch-mechanische Eigenschaften der Holzarten [Sell87].....	20
Tabelle 2: Versuchsparameter zum Fixglätten	21
Tabelle 3: Für die Rauheitsmessung ausgewählte Proben.....	23
Tabelle 4: Versuchsplan für Emissionsmessungen.....	26
Tabelle 5: Emission von Formaldehyd während der Glättbearbeitung	28
Tabelle 6: Gesamt-VOC (Summenparameter) während der Glättbearbeitung.....	28
Tabelle 7: Flüchtige organische Verbindungen (Summenparameter) aus Materialproben .	29
Tabelle 8: Versuchsplanung für Lackierversuche an geglätteten MDF-Platten	30
Tabelle 9: Lackierte Varianten für Wechselklimatest	31

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

°C	Grad Celsius, Maßeinheit für die Temperatur
1-Ethyl-2-Hexansäure	Organische Säure
Acetyl-Aceton-Methode	Analytisches Verfahren zur Bestimmung von Formaldehyd in wässriger Lösung
CAD	computer aided design, Computer-unterstütztes Konstruieren
CNC	computer numerical control, Mikroprozessor-basierte numerische Maschinensteuerung
CNC-Bearbeitungszentrum	Numerisch gesteuerte Bearbeitungsmaschine zur Komplettbearbeitung von Werkstücken
Dekansäure	Organische Säure
DIN	Deutsche Industrienorm
Essigsäure	Organische Säure
FID	Flammenionisationsdetektor
Formaldehyd, Hexanal	flüchtige Verbindungen, Aldehyde
GC	Gaschromatograf
Hexansäure	Organische Säure
Hz	Hertz, Maßeinheit für die Frequenz, 1 Hz = 1/Sekunde
ihd	Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH
Kryofokussierung	Kältefalle, die der Thermodesorptionseinheit nachgeschaltet ist (z.B. -150°C)
LF	relative Luftfeuchtigkeit in %
m	Meter
MDF	Mitteldichte Faserplatte, Holzwerkstoff, bestehend aus mittels Kleber miteinander verpreßten Holzfasern, der sich durch hohe Tiefräsqualität auszeichnet
min	Minute
mm	Millimeter
MPa	Megapascal, Maßeinheit für den Druck 1 MPa = 1 N/mm ²
MSD	Massenselektiver Detektor
N	Newton, Maßeinheit für die Kraft
n	Drehzahl, Anzahl der Umdrehungen pro min
Nonansäure	Organische Säure
Oktansäure	Organische Säure
PAK	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe
rel. LF	relative Luftfeuchte in %
s	Sekunde

Sonotrode	Bauteil eines Ultraschallgerätes, das den mechanischen Schall in ein Medium einleitet, hier als Werkzeug zur Glättbearbeitung
Soxhlet	Gerät zur Lösemittlextraktion von Materialproben
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
Support	Aggregateträger einer CNC-Bearbeitungsmaschine, verfahrbar entsprechend der Anzahl der numerischen Achsen
TENAX, Silicagel	Adsorbentien, mit diesem Material gefüllte Röhren dienen der aktiven Luftprobenahme, indem definiert Luft durch diese gesaugt wird.
Thermo- desorption	Desorption von mit einem Adsorbens gefüllten Röhren (z.B. TENAX) mittels hoher Temperaturen (z.B. bis 280 °C)
Thermoglätten	Egalisieren einer (Holz-)oberfläche durch Anwendung von Wärme und Anpreßdruck
Transferfinish	fester Lackfilm, der von einer Trägerfolie auf das zu beschichtende Werkstück übertragen wird, dabei werden keine Lösemittel emittiert
Ultraschall	mechanische Schwingungen kleiner Amplitude mit einer Frequenz > 20kHz
U_M, I_M	Meßspannung, -strom des konditionierten Ausgangssignals des Temperaturfühlers
U_S	Stellspannung zur Ansteuerung des Thyristor-Leistungsstellers in Volt
VOC	Volatile organic compounds (flüchtige organische Verbindungen)

0 Zusammenfassung

Vorgestellt wird ein Thermoglättverfahren, bei dem gefräste Profiloberflächen in Holzwerkstoffen mittels elektrisch beheizter Werkzeuge vergütet werden. Für dieses Verfahren wurde eine Baugruppe mit Werkzeugaufnahme als Prototyp auf einer CNC-Bearbeitungsmaschine installiert. Die Glättwerkzeuge sind in ihrer Form dem gefrästen Profil angepaßt und weisen eine dem Dichtprofil des zu bearbeiteten Holzwerkstoffes entsprechende Profilkorrektur auf. In umfangreichen Versuchen wurden Einflüsse der Prozeßparameter Vorschubgeschwindigkeit, Zustellung und Werkzeugtemperatur analysiert und deren Wirkung auf die Eigenschaften geglätteter Profilflächen nachgewiesen.

Während des Glättvorganges auftretende Emissionen, die auf chemische Reaktionen des Holzwerkstoffes unter Temperatureinwirkung zurückzuführen sind, wurden gemessen und analysiert. Beim gesamten Glättprozesses konnten keine bedenklichen Schadstoffkonzentrationen nachgewiesen werden.

Die Eignung verschiedener Beschichtungen für die geglätteten Profile wurde exemplarisch an Hand unterschiedlicher Beschichtungsarten (Lacke, Folien) untersucht. Im Ergebnis führt auch die Anwendung wasserhaltiger Lacke bei fachgerechter Verarbeitung zu hochwertigen Oberflächen bei deutlich geringerem Applikationsaufwand im Vergleich zu geschliffenen Profilflächen. Weiteres Entwicklungspotential zeigt sich an den werksseitig geschliffenen und nicht thermogeglätteten Breitflächen. Diese erfordern für Lackierungen spezielle Maßnahmen der Oberflächenverbesserung, wie beispielsweise das Aufbringen von Grundierfolie.

Die Anwendung des hier untersuchten Fixglättens erlaubt Verzicht auf den Holzschliff und damit die Vermeidung von Emissionen durch Schleifstaub verbunden mit deren gesundheitlichen Risiken. Die Applikation dünner Schichtdicken eröffnet ein bedeutendes Sparpotential bei der Beschichtung hinsichtlich Materialkosten und manueller Schleifarbeit.

Das Fixglätten als ein weiterer Vertreter der bisher bekannten Thermoglättverfahren ist auf handelsübliche CNC-Bearbeitungsmaschinen adaptierbar. Es eignet sich für die Bearbeitung hochwertiger Frontelemente der Mittel- und Kleinserienfertigung in der Möbelindustrie. Die elektrische Beheizung der Werkzeuge und der Wegfall rotierender Teile erlaubt eine simple Konstruktion und einfaches Beherrschen dieser neuen Bearbeitungstechnologie. Ausgehend vom gegenwärtigen Erkenntnisstand kann eine gesundheitliche Gefährdung des Bedienpersonals durch den Glättprozeß ausgeschlossen werden.

Die Bearbeitung dieses Forschungsprojektes wurde im Zeitraum von November 1997 bis Oktober 1999 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, finanziell unterstützt (AZ 08086).

1 Einleitung

Die Feinbearbeitung von Bauelementen und Möbelteilen aus Holz und Holzwerkstoffen erfolgt heute vorwiegend durch *Schleifen*. Während flächige Elemente mit Spezialmaschinen in hervorragender Qualität mittels - teilweise automatisch gesteuerten Druckbalken - geschliffen werden, ist das maschinelle Schleifen von profilierten und gewölbten Flächen technisch bisher nicht hinreichend gelöst. Üblicherweise werden umlaufende flexible Schleifbänder mit profilierten Druckschuhen kombiniert, profilierte Schleifscheiben, Schleifmittelstreifen und/oder Schleifstifte verwendet. Profilschleifoperationen erfordern eine sehr genaue Anpassung hinsichtlich Körnung, Anpreßdruck und Profilgenauigkeit der Schleifkörper. Wegen der teilweise nur geringen Standwege bestimmen die Werkzeugwechsel- und Rüstzeiten die Preisgestaltung hochwertig geschliffener Möbelteile und Bauelemente zum Teil erheblich.

Beim Fräsen von Holz und Holzwerkstoffen angeschnittene und teilweise aus dem Materialverbund herausgerissene Fasern werden beim Schleifen durch eine Vielzahl unbestimmter Schneiden - der Körner auf dem Schleifmittelträger - abgetrennt oder an die Oberfläche gedrückt. Je nach Menge des Abtrages werden beim Schleifen Deformationszonen des Holzes beseitigt, die beim Fräsen durch die Materialstauchung unter der Schneide entstehen.

Dagegen wird mit den *Thermoglättverfahren* die plastische Verformung der Oberfläche gewollt provoziert. Die Oberflächenzone des Werkstoffes wird unter Einwirkung von Wärme plastifiziert und mittels Anpreßdruck verdichtet. Die beim Fräsen angeschnittenen und nicht vollständig abgetrennten Holzfasern werden auf der Oberfläche durch holzeigene Klebstoffe fixiert. Auf Grund der einwirkenden Temperatur von ca. 200 °C karamelisieren Holzinhaltsstoffe und führen unter optimalen Prozeßbedingungen zur Verklebung der Fasern an der Oberfläche. Dabei kommt es zur Ausbildung einer glatten, geschlossenen Profiloberfläche (siehe Abbildung 1).

Die Rauheit dieser geglätteten Oberflächen ist nicht nur deutlich geringer als die durch das Schleifen erreichbare. Der Verdichtungseffekt beim Glätten bewirkt auch, daß die Oberflächenzone eine größere Dichte und Härte aufweist. Dies ist besonders vorteilhaft für nachfolgende Flüssigbeschichtungen, beispielsweise für Mitteldichte Faserplatte (MDF), für die Beschichtung mit dünnen Folien (Transferfinish) oder auch die Aufwertung weicher Laubhölzer durch die Verbesserung der Oberflächenhärte.

In der industriellen Möbelfertigung werden Durchlaufmaschinen und stationär arbeitende Maschinen (Bearbeitungszentren) unterschieden. Daher ist das Prinzip des Thermoglättens technisch so umzusetzen, daß es sich auf die bestehenden Maschinenkonzepte adaptieren läßt und bestimmte Vorgaben zu technologischen Rahmenanforderungen erfüllt.

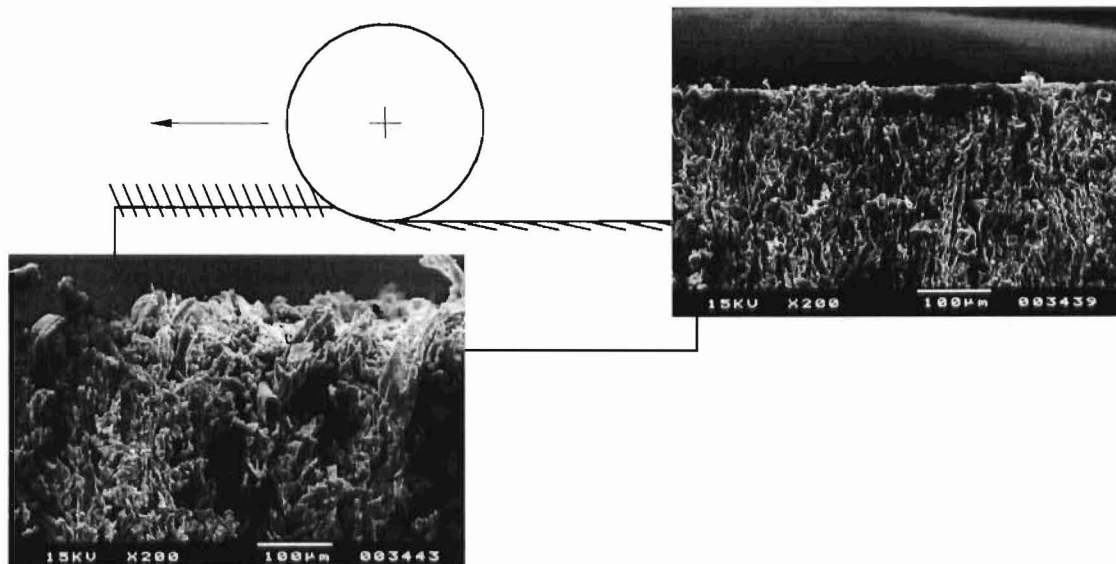


Abbildung 1: Prinzip des Thermoglättens

2 Stand der Technik bei den Thermoglättverfahren

Ausgangspunkt für das Thermoglätten war die Egalisierung gefräster Profiloberflächen an Werkstücken aus Holz oder Holzwerkstoff, wobei die Wärme durch Friktion schneidenloser rotierender Werkzeuge auf der Profiloberfläche erzeugt wurde [Sander90]. Im Verlauf der labortechnischen Anwendung und Umsetzung dieses sogenannten Rotationsreibglättens wurde erkannt, daß durch Änderung der Drehzahl die Reibwärme und in der Folge auch die Glättqualität der Profiloberfläche auf CNC-Bearbeitungszentren steuerbar ist. Technisch war es aber nicht möglich, die Oberflächentemperatur in der Kontaktzone von rotierendem Glättwerkzeug und Werkstück zu messen. Deshalb wurde die Temperatur nahe der Eingriffsstelle des rotierenden Glättwerkzeuges an einem zylinderförmigen Bereich mit einem berührungslosen Temperatursensor gemessen [Brückner93]. Die an Hand von Erfahrungswerten eingestellten Prozeßparameter wurden mit der Oberflächenqualität und der gemessenen Werkzeugtemperatur verglichen und einer adaptiven Fuzzy-Regelung zugrunde gelegt [Urban94], [Fuchs95]. Insgesamt zeigte sich, daß mit dem Rotationsreibglätten sehr gute Resultate bezüglich Oberflächenrauheit und Verdichtung erzielt werden konnten, daß aber der Glättprozeß durch die Führung der Werkzeugtemperatur als unbekannter Sollwert schwierig zu beherrschen war. Außerdem zeigte sich, daß für die Holzbearbeitung unüblich hohe Kräfte erforderlich waren. Diese hohen Kräfte im Zusammenspiel mit der Wärmeableitung aus dem Glättprozeß können die Lebensdauer der Spindellager erheblich vermindern [Sandig95].

Die bisher entwickelten Thermoglättverfahren unterscheiden sich bei gleichem Wirkprinzip (siehe Abbildung 1) lediglich in ihrer Art der Erzeugung der notwendigen Prozeßwärme.

- *Rotationsreibglätten*

Die Profilflächen werden mit glatten schneidenlosen Werkzeugen verdichtet. Die Wärme entsteht durch Friktion des rotierenden Werkzeuges auf der Profiloberfläche des Werkstückes. Die Temperatur des Werkzeuges wird durch die Spindeldrehzahl des Glättwerkzeuges geregelt. Diese Temperaturregelung ist schwierig, da die tatsächliche Temperatur im Kontaktbereich des Glättwerkzeuges nicht gemessen werden kann. Ob-

wohl unter Laborbedingungen auf einem CNC-Bearbeitungszentrum sehr gute Resultate erreicht werden, ist dieses Verfahren für die Umsetzung in der Praxis wegen der komplizierten Prozeßführung nicht geeignet [Sandig95].

- *Rollglätten*

Die Rollglättwerkzeuge bestehen aus erwärmten Glättkörpern, die von jeweils einer feststehenden Achse aus elektrisch beheizt werden. Die drehbar gelagerten Werkzeuge wälzen sich auf der Oberfläche des Werkstückes ab. Durch die kaskadierte Anordnung mehrerer Glättwerkzeuge in Vorschubrichtung hintereinander sind Vorschubgeschwindigkeiten von mehr als 20 m/min möglich. Damit ist dieses Verfahren für die praktische Anwendung auf Durchlaufmaschinen zur Kantenbearbeitung geeignet.

- *Ultraschallglätten*

Bei diesem Verfahren wird die Wärme an der Kontaktstelle mittels Reibung zwischen Glättwerkzeug und Werkstückoberfläche durch hochfrequente mechanische Schwingungen erzeugt. Es ist keine separate Beheizung des Glättwerkzeuges erforderlich. Es sind sehr gute Oberflächeneigenschaften nachgewiesen worden [Raatz98]. Allerdings sind zum gegenwärtigen Entwicklungsstand nur rechtwinklige Schmalflächen bearbeitbar, so daß praktische Anwendungen erst zu nach weiteren Untersuchungen abgeschätzt werden können.

- *Fixglätten*

Das Fixglätten ist für die Bearbeitung gefräster Profile auf CNC-Bearbeitungsmaschinen vorgesehen. Die Prozeßwärme wird - wie beim Rollglätten - durch elektrische Heizpatronen erzeugt, die im Werkzeug montiert sind. Das Werkzeug ist nicht rotierend gelagert und wird durch einen separaten Geräteträger, der am Support der Bearbeitungsmaschine befestigt ist, der gefrästen Bahn am Werkstück nachgeführt.

Die Untersuchung dieses Verfahren ist Gegenstand des vorliegenden Berichtes.

Das Rotationsreibglätten erfordert über den Drehzahlbereich von 0 bis ca. 3000 min⁻¹ ein hohes Drehmoment, damit der Antriebsmotor nicht zum Stillstand abgebremst wird. Ein weiteres Problem ist die ständige Ableitung der Wärme in die Spindellager. Diese unzulässige Erwärmung reduziert die Lebensdauer der Spindel und war neben den enormen Prozeßkräften bisher ein wesentliches Hemmnis für die praktische Überleitung.

Im Rahmen von Untersuchungen beim Rotationsreibglätten zur Abhängigkeit der Oberflächengüte von der Werkzeugtemperatur wurde festgestellt, daß Glätteeffekte selbst bei niedrigen Spindeldrehzahlen nachzuweisen waren, wenn das Glättwerkzeug ausreichend aufgeheizt war [Brückner94]. Daraus wurde die Idee abgeleitet, die Wärme nicht durch Reibung des rotierenden Werkzeuges zu erzeugen, sondern das Glättwerkzeug mit einer elektrischen Heizpatrone zu erhitzen und nicht rotierend zu lagern. Hier konnte auch festgestellt werden, daß unter Glättbedingungen, bei denen eine hohe Oberflächengüte erreicht wird, eine zu große Zustellung zu einem „griesligen“ Oberflächenbild führte [Brückner94].

3 Forschungsziele

Ziel eines modifizierten Thermoglättverfahrens war es, die zum Glätten erforderliche Temperatur durch elektrische Beheizung zu erreichen. Neben dem Wegfall rotierender Teile sollte in diesem Zusammenhang der konstruktive Aufbau der Glättbaugruppen und die Regelung und Führung des Glättprozesses vereinfacht werden. Das vorgeschlagene Thermoglättverfahren mittels nicht rotierender, elektrisch beheizter Glättwerkzeuge (Fixglätten) war auf einem CNC-Bearbeitungszentrum unter Laborbedingungen zu testen.

In der Vergangenheit hatte die Paßgenauigkeit der Glättwerkzeuge wiederholt Schwierigkeiten bereitet. Maßvorgaben und Profilkorrekturen an den Glättwerkzeugen konnten nur empirisch ermittelt werden. Diese Profilkorrekturen sollten im Zusammenhang mit dem Einfluß des Dichteprofiles bei Mitteldichter Faserplatte (MDF) untersucht werden.

An Hand von Beschichtungsversuchen war die Eignung der geglätteten Oberflächen für die nachfolgenden Bearbeitungsschritte zu überprüfen und der Rationalisierungseffekt bei der Herstellung von Möbelteilen aufzuzeigen.

Meßergebnisse, die im Rahmen eines Forschungsthemas bei der Trocknung von Schnittholz gewonnen wurden, wiesen Emissionen von organischen Säuren und Formaldehyd aus [Aehlig96]. Da bei den Thermoglättverfahren der Werkstoff Holz mit ähnlich hohen Temperaturen kurzzeitig beaufschlagt wird, sollten während der Glättbearbeitung die Konzentrationen gasförmiger organischer Säuren und Kohlenwasserstoffe an Hand von Messungen nachgewiesen werden. Diese Messungen sollten Rückschlüsse auf die Umweltverträglichkeit des Thermoglättens zulassen.

Nach Abschluß der Untersuchungen waren die praktische Umsetzbarkeit des entwickelten Verfahrens zu beurteilen, technologische Schritte für die Realisierung vorzuschlagen und eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit vorzunehmen.

4 Entwurf und Fertigung einer Glätteinrichtung

4.1 Versuchsmaschine BIMA 100

Für die Untersuchungen wird ein 3-achsiges CNC-Bearbeitungszentrum vom Typ BIMA 100 Quadroform, Baujahr 1994, mit der Steuerung Sinumerik 805 SM-TW eingesetzt. Die Maschine ist vom Hersteller für die Komplettbearbeitung von Möbelteilen in Mittel- bis Kleinserien konzipiert und verfügt standardmäßig über zwei Fräsaggregate, Bohreinrichtungen und eine schwenkbare Säge. Der Support (Aggregateträger) der Versuchsmaschine wurde im Rahmen der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Thermoglättens durch die Installation bzw. Austausch spezieller Aggregate bereits modifiziert und mit einer Anordnung zur Messung der werkstückseitigen Kräfte versehen [Sandig95], [Raatz98].

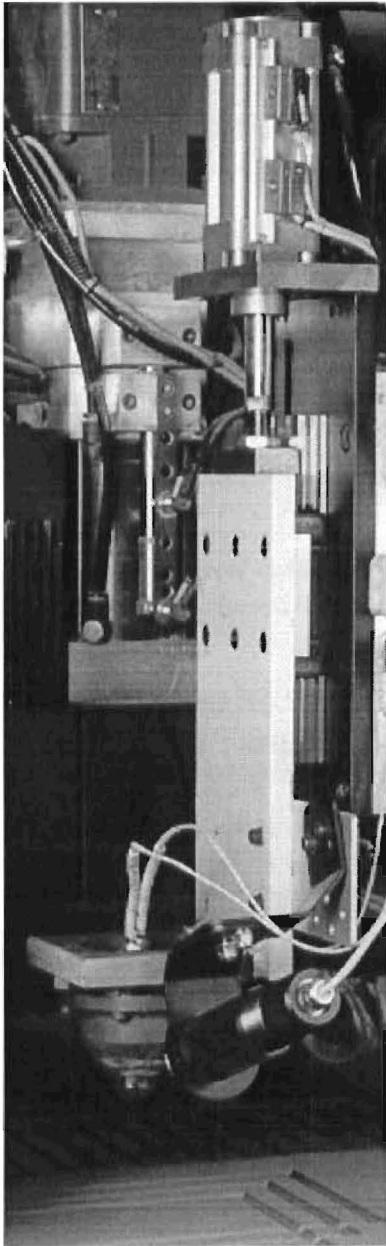


Abbildung 2: Geräteträger mit Sonderaggregat zum Fixglätten an der BIMA 100

Diese Maschine ist für die geplante Verfahrensuntersuchung besonders geeignet, weil Vorschubgeschwindigkeit, Zustellung und sonstige Parameter am Bedienteil der Steuerung vorgegeben werden können. Außerdem wurde an Stelle des ursprünglich vorhandenen Sägeaggregates ein Geräteträger montiert. Dieser Geräteträger besteht aus einem stabilen Stahlwinkel, der auf einem Linearschlitten montiert ist und mittels Pneumatikzylinder vertikal (in z-Richtung des Maschinenkoordinatensystems) zugeestellt werden kann (siehe Abbildung 2). An diesem Geräteträger kann ein Sonderaggregat für zusätzliche Bearbeitungsvorgänge montiert werden. Die Funktionen zur Positionierung und Ansteuerung des Geräteträgers sind in der NC-Steuerung der Maschine integriert, so daß das installierte Sonderaggregat programmgesteuert Bearbeitungsvorgänge ausführen kann. Auf diese Weise ist gewährleistet, daß das am Geräteträger montierte Werkzeug einem zuvor programmierten und gefrästen Konturverlauf exakt nachgeführt wird.

Des weiteren besteht am Geräteträger die Möglichkeit der Befestigung von Sensoren und elektrischer Anschlüsse zur Energieversorgung des Sonderaggregates.

Aus bereits abgeschlossenen Untersuchungen anderer Thermoglättverfahren hatte sich gezeigt, daß nicht nur die Variation von Prozeßparametern, sondern auch die Aufnahme von Meßgrößen während

der Bearbeitung wichtige Informationen über Wirkmechanismen und Zusammenhänge qualitätsbildender Parameter der untersuchten Verfahren liefert [Ratz98].

Aus diesem Grund war ein Teil der Aufspaneinrichtung durch einen Kraftmeßtisch ersetzt worden, mit dem während der Bearbeitung werkstückseitig Kräfte gemessen werden können. Die Werkstücke werden während des gleichzeitigen Bearbeitungs- und Meßvorganges - wie in der Holzbearbeitung üblich - mittels Vakuum gespannt (siehe Abbildung 3).

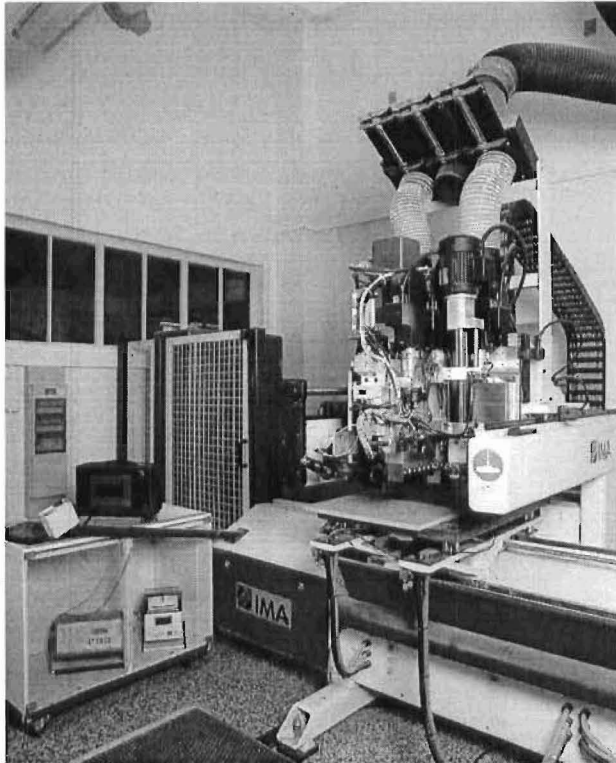


Abbildung 3: Die Versuchsmaschine mit Kraftmeßeinrichtung

Wegen des erwartungsgemäß hohen Kraftbedarfes beim Glättvorgang wurde für die Zustellbewegung des Aggregateträgers ein Pneumatikzylinder größerer Nennweite installiert und eine konstruktive Anpassung der Baugruppe vorgenommen. Damit waren am Glättaggregat Kräfte bis zu 1500 N ausgehend von einem Luftdruck von 0,8 MPa verfügbar.

4.2 Die Glätteinrichtung

4.2.1 Konstruktion der Werkzeugaufnahme

Als Aufnahme für die elektrisch beheizten Glättwerkzeuge wurde ein Flansch aus Stahl gefertigt, der an dem Winkelträger des Sonderaggregates befestigt wird. Dieser Flansch verfügt über eine zylindrische Bohrung, die mit einer Isolierhülse das Glättwerkzeug aufnimmt. Diese Isolierhülse soll die Wärmeübertragung vom beheizten Werkzeug auf die angrenzenden Maschinenteile einschränken.

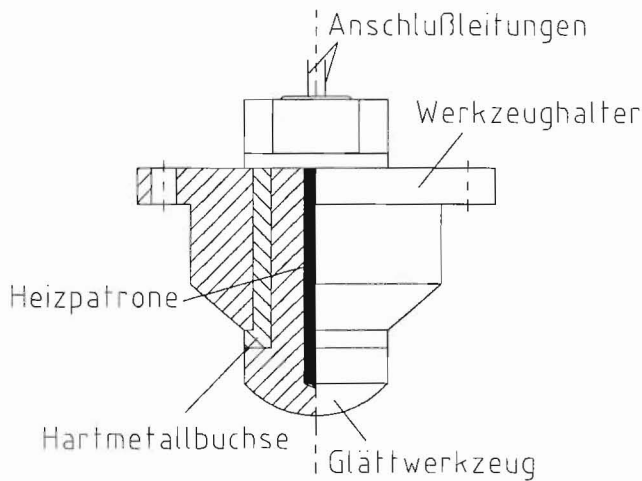


Abbildung 4: Aufnahmevorrichtung für elektrisch beheizte Werkzeuge zum Fixglätten

Da Vorversuche mit einer Isolierhülse aus temperaturbeständigem Kunststoff wegen zu geringer Druckfestigkeit fehlschlagen, wurde eine Buchse aus Hartmetall (Sorte: V 30 Ti) in den Werkzeughalter eingepreßt (siehe Abbildung 4). Die Ableitung der Wärme in die Maschinenkonstruktion konnte so eingeschränkt werden, da Hartmetall im Vergleich zu Stahl über einen sehr geringen Wärmeleitkoeffizienten hat.

4.2.2 Profilform und Beheizung der Glättwerkzeuge

Die Glättwerkzeuge sind mit einem Zylinderschaft $\varnothing 25g6$ versehen, der zentrisch in die Bohrung der Hartmetallbuchse der Werkzeugaufnahme eingeführt wird. Gegen axiale Verschiebung der Werkzeuge sind diese durch einen Bund gesichert und mit einer Mutter von oben verschraubt. In Achsrichtung der Werkzeuge befindet sich eine zentrische Längsbohrung, in die eine elektrische Heizpatrone installiert ist.

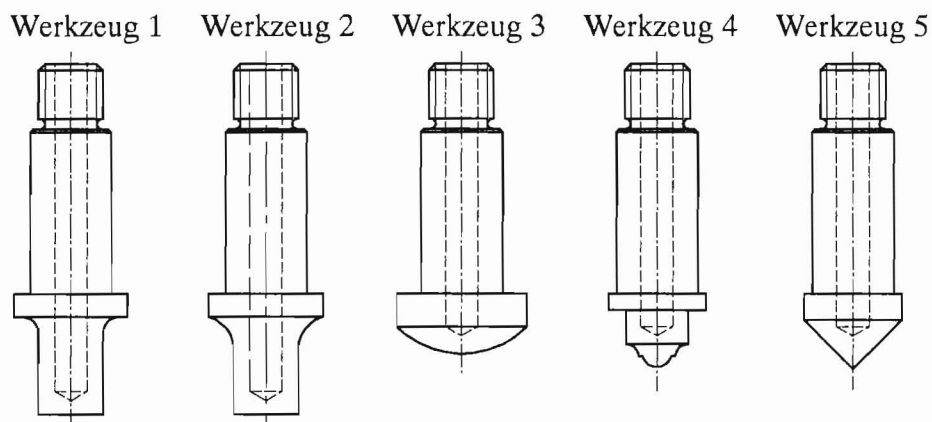


Abbildung 5: Eingesetzte Glättwerkzeuge

Für die Bearbeitung verschiedener Profilformen wurde - ausgehend von den vorhandenen Profilfräsern - mehrere Glättwerkzeuge angefertigt und getestet (siehe Abbildung 5).

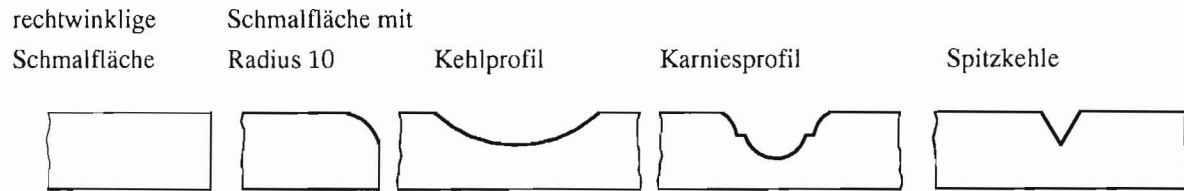


Abbildung 6: Bearbeitete Profile

Beheizen der Glättwerkzeuge

Zunächst waren die Glättwerkzeuge für Heizpatronen vom Typ Watlow $\varnothing 6,5 \times 80$, Leistung 400 W, vorgesehen. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Zieltemperatur von 400 °C nur nach langer Heizphase oder gar nicht erreicht wurde, weil die ausgewählte Heizleistung und die Länge der Heizpatronen nicht ausreichend war. So standen keine Leistungsreserven für eine Temperaturregelung während des Glättvorganges zur Verfügung. Es wurden deshalb Heizpatronen vom Typ HS $\varnothing 10 \times 100$ bzw. $\varnothing 10 \times 80$, Leistung 630 W eingesetzt und die Längsbohrungen der Glättwerkzeuge auf Durchmesser 10 mm und die entsprechende Länge angepaßt. Auf diese Weise standen ausreichend Leistungsreserven für die Beheizung zur Verfügung und es wurde eine weitgehend homogene Temperaturverteilung im Eingriffsbereich der Glättwerkzeuge erreicht. Wegen des verbesserten Hitzeschutzes und aus Sicherheitsgründen wurden die Leitungen im unmittelbaren Anschlußbereich der Heizpatrone mit einer Perlisolierung aus Keramik versehen, um eine Beschädigung der Anschlußleitungen und Kurzschluß mit der Maschine auszuschließen.

Aufbau der Regelstrecke

Aufgabe der Temperaturregelung sollte es sein, die für die Durchführung von Versuchen erforderliche Werkzeugtemperatur schnell zu erreichen und innerhalb einer vorgegebenen Toleranz konstant zu halten. Folgende Störungen sollten durch die Regelung ausgeglichen werden:

- Abkühlung durch Wärmeleitung, -strahlung und Konvektion in Verbindung mit Luftbewegungen durch Positionsänderungen des Supportes
- Erhöhte Konvektion durch Absaugung der Späne während des Fräsvorganges
- Wärmeübergang von der beheizten Werkzeugoberfläche auf das Profil des Werkstückes während des Glättvorganges

Die Temperaturregelung (Regelkreis) besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten:

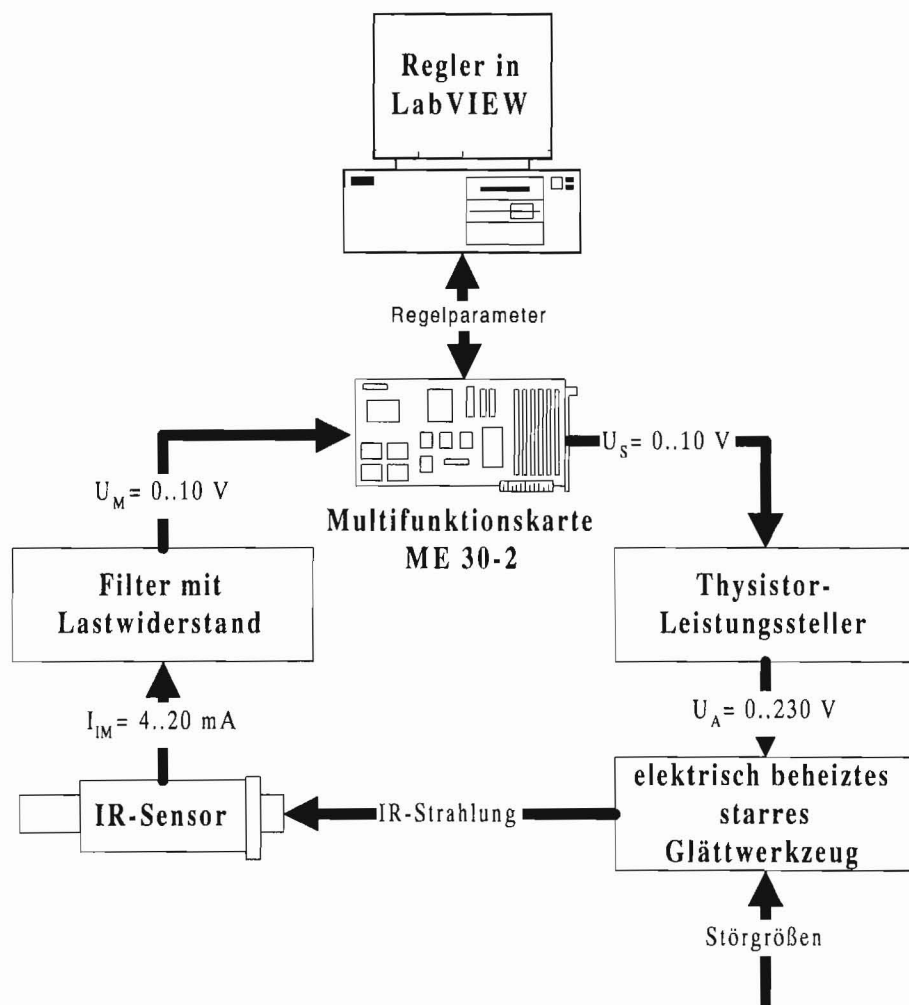


Abbildung 7: Komponenten des Regelkreises

Die aktuelle Temperatur am Werkzeug wird durch den berührungslosen Infrarot-Meßkopf Typ AMiR 7838 (Fa. Ahlborn) erfaßt. Dieser Temperaturfühler hat einen Meßbereich von -18 °C bis $+500\text{ °C}$. Auf Grund der Meßfleckgröße von $2,5\text{ mm}$ in einer Entfernung von 76 mm ist eine punktuelle Temperaturmessung nahe der Eingriffsstelle am Glättwerkzeug möglich. Der am Temperaturfühler einzustellende Emissionsgrad beträgt $0,89$. Er wurde durch Referenzmessungen ermittelt.

Das Stromsignal I_{IM} des Temperaturfühlers AMiR 7838 (Bereich: $4\text{...}20\text{ mA}$) wird von einem Lastwiderstand ($R_L = 470\ \Omega$) in einen Spannungswert U_M von $0\text{...}10\text{ V}$ umgewandelt. Gleichzeitig werden Störungen im Meßsignal durch ein aktives Tiefpaßfilter 1. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von $7,2\text{ Hz}$ unterdrückt.

Die vom Temperaturfühler am Glättwerkzeug ermittelte Temperatur wird als Meßspannung U_M von einem analogen Eingangskanal der ME 30-2 in den Regelungs-PC eingelesen und die digitalisierten Meßdaten algorithmisch verarbeitet. Die eigentliche Regelung übernimmt ein Programm, das unter der grafischen Programmiersprache LabVIEW erstellt wurde und auf dem Regelungs-PC abläuft. Dieses Programm steuert auf der eingebauten Multifunktionskarte ME 30-2 die Digitalisierung des analogen Eingangssignals vom Temperatursensor, die Bildung von Mittelwerten aus diskreten Abtastwerten und berechnet an Hand vorgegebener Regelungsparameter und -algorithmen den analogen Ausgangswert zur Ansteuerung des Thyristor-Leistungsstellers. Der Algorithmus beruht auf der Mittel-

wertbildung mehrerer Abtastzyklen und einem PID-Algorithmus, der die Vorhaltezeit und die Trägheit des Regelsystems berücksichtigt.

Als Ausgabewert liefert die Einsteckkarte am analogen Ausgang der ME30-2 die Steuerungsspannung U_s im Bereich 0...10V für den Eingang des Thyristor-Leistungsstellers, der entsprechend der aktuellen Steuerungsspannung die Energiezufuhr zur Heizpatrone im Glättwerkzeug drosselt oder erhöht (Abbildung 7).

Aus der Kennwertanalyse des Regelkreises wurden die Regelparameter bestimmt. Dafür wurden für unterschiedliche Werte der Führungsgröße die Sprungantwort der Regelgröße aufgezeichnet und analysiert. Auf Grundlage dieser Analyse wurde als Reglertyp ein PID-Regler ausgewählt und Simulationsrechnungen für die Optimierung der Regelparameter für verschiedene Werkzeuge durchgeführt. Basierend auf diesen Untersuchungen wurden die Regelparameter festgelegt und am realen Prozeß getestet [Proschwitz98].

Während der Bearbeitung kann die Temperatur des Glättwerkzeuges durch die punktuelle Messung des Temperatursensors zwar nahe aber nicht direkt an der Eingriffsstelle gemessen werden. Es wurden daher während der Glättbearbeitung mit unterschiedlichen Maschinenparametern Temperatur-Meßreihen aufgenommen und mit dem Modell der linearen multiplen Regression eine Umrechnung der Meßstellentemperatur T_m auf die Arbeitsflächentemperatur T_a nach der Formel

$$T_a = 0,935 \cdot T_m - 1,40$$

vorgenommen.

Außerdem wurde festgestellt, daß für den Regelalgorithmus das Unterscheiden von Ruhe- und Arbeitsphasen des Glättwerkzeuges notwendig sind. Aus diesem Grund wurde von der Maschinensteuerung des CNC-Bearbeitungszentrums ein Signal zur Verfügung gestellt, das Beginn und Ende der Arbeitsphase des Glättaggregates anzeigt. Der Status des Glättaggregates wird mit einem berührunglosen Endlagenschalter am Pneumatikzylinder bestimmt, der das Aggregat durch die Zustellbewegung zum Eingriff bringt (siehe Abbildung 2). Der Digitalport der Multifunktionskarte ME30-2 erkennt den Status dieses Signals und gibt diesen an den Regelalgorithmus weiter. Fährt das Glättaggregat von der Ruhe- in Arbeitsposition, erfolgt eine Umschaltung des Regelalgorithmus'.

Die Testung ergab die Übereinstimmung mit den Simulationsergebnissen und eine gute Eignung des Reglers für weitergehende Untersuchungen. Im Ergebnis wurde eine Aufheizzeit von max. 15 min und eine Regelabweichung während des Betriebes von $<10^\circ\text{C}$ realisiert. Eine Sicherheitsschaltung warnt bei Werkzeugtemperaturen über 500°C und schaltet die Energiezufuhr zur Heizpatrone automatisch ab [Proschwitz98].

4.2.3 Profilkorrektur

Die Untersuchung vorangegangener Glättverfahren hatte gezeigt, daß nicht alle Profilmittelbereiche zufriedenstellend geglättet waren, wenn die Profilform des Glättwerkzeuges nicht exakt dem gefrästen Profil angepaßt war. Empirisch festgelegte Profilkonturen hatten in der Vergangenheit häufig dazu geführt, daß Profilmittelbereiche unzureichend geglättet waren, während andere Bereiche bereits Schwärzungen aufwiesen. Mit dem Glättvorgang soll aber eine gleichmäßige Verdichtung und Saugfähigkeit der Profilmittelbereiche erreicht werden. Da die Dichte des verwendeten MDF-Werkstoffes über die Plattendicke nicht konstant ist (siehe Anhang), erfordern die gefrästen Profilmittelbereiche eine größere Verdichtung als die

Randzonen höherer Dichte. Um diesen Glätteffekt zu optimieren, ist dem charakteristischen Dichteprofil einer gefrästen Profilfläche durch geeignete Formkorrekturen am Glättwerkzeug zu entsprechen (Abbildung 8 und Anlage 4). Diese Profilkorrektur soll dazu führen, daß Zonen geringerer Dichte - typischerweise der Mittelbereich bei MDF - stärker verdichtet werden als Zonen großer Dichte (Randbereich von MDF) [Sandig93], [Sandig95].

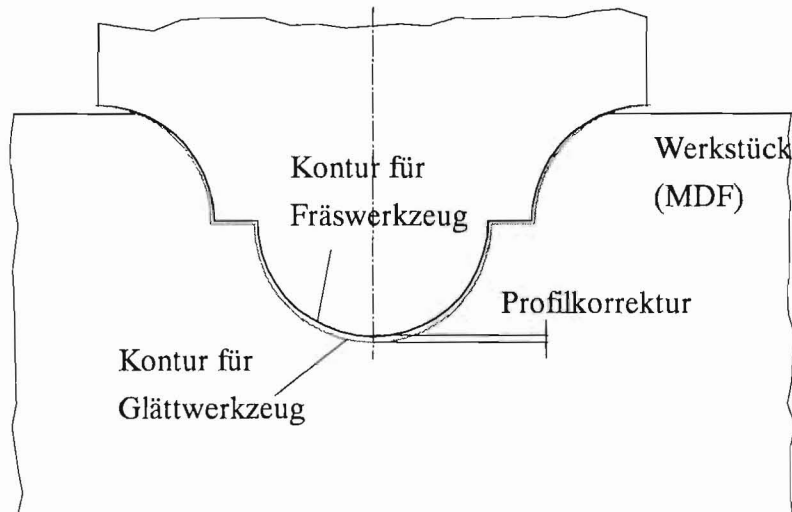


Abbildung 8: Profilkorrektur am Beispiel des Karniesprofils

Grundlage für exakte Konturvorgaben an Glättwerkzeugen ist zunächst das Vermessen der Profilkontur des Fräswerkzeuges. Die am ihd zur Verfügung stehende Koordinatenmeßmaschine „magnum 320 H“ (Fa. Zoller) ist dafür vorgesehen, Schneiden an Werkzeugen hinsichtlich Schneidenflugkreisdurchmesser, Rundlauf und Eckenradien zu vermessen.

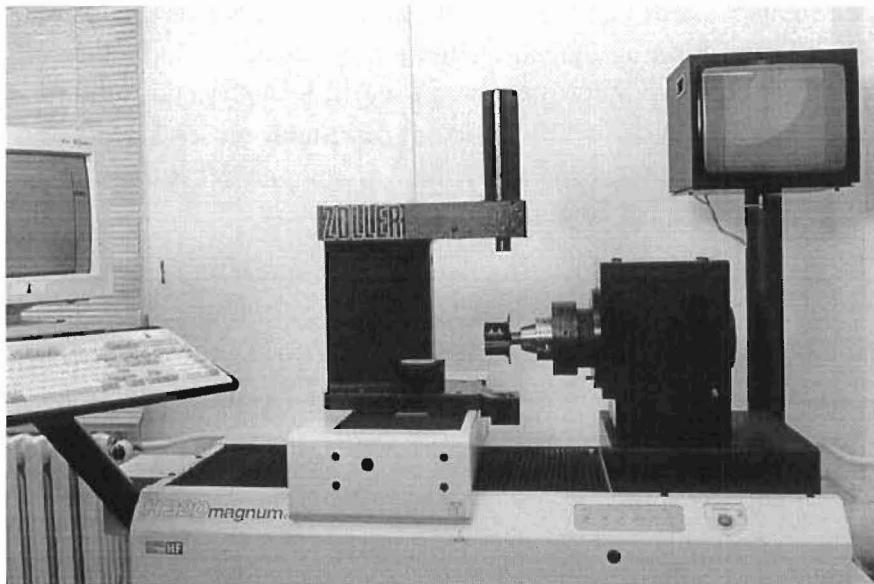


Abbildung 9: Koordinatenmeßmaschine zur Profilbestimmung

Das Meßprinzip der Koordinatenmeßmaschine basiert auf der automatischen Bildaufnahme im Durchlichtverfahren. Die oben angeordnete CCD-Kamera erfaßt den Schattenriß der von unten beleuchteten Werkzeugschneide. Vorgegebene Algorithmen sind in der Lage,

definierte Schneidenformen im angewählten Bildausschnitt zu erkennen und deren Koordinaten in zwei Achsrichtungen zu bestimmen (Abbildung 9).

Für die Vermessung von Konturen sind in einem sogenannten Einrichteblatt bis zu 120 Meßpunkte und Schneidenformen vorzugeben, die anschließend von der Koordinatenmeßmaschine automatisch angefahren und vermessen werden. Die Ergebnisse der Messung können in einem speziellen Datenformat als Datei gespeichert werden. Mit einem unter LabVIEW programmierten Datenfilter werden aus diesen Dateien die ermittelten Schneidenpunkte als Koordinatenpaare in ein CAD-kompatibles Datenformat transferiert.

Im CAD-Programm wird an Hand der importierten Koordinatenpaare die Kontur des vermessenen Werkzeuges mittels geometrischer Figuren (Geraden, Kreissegmente) rekonstruiert. Redundante Koordinatenpaare dienen dazu, die Plausibilität und Qualität (Genauigkeit) der rekonstruierten Profilform nachzuweisen (siehe Abbildung 10).

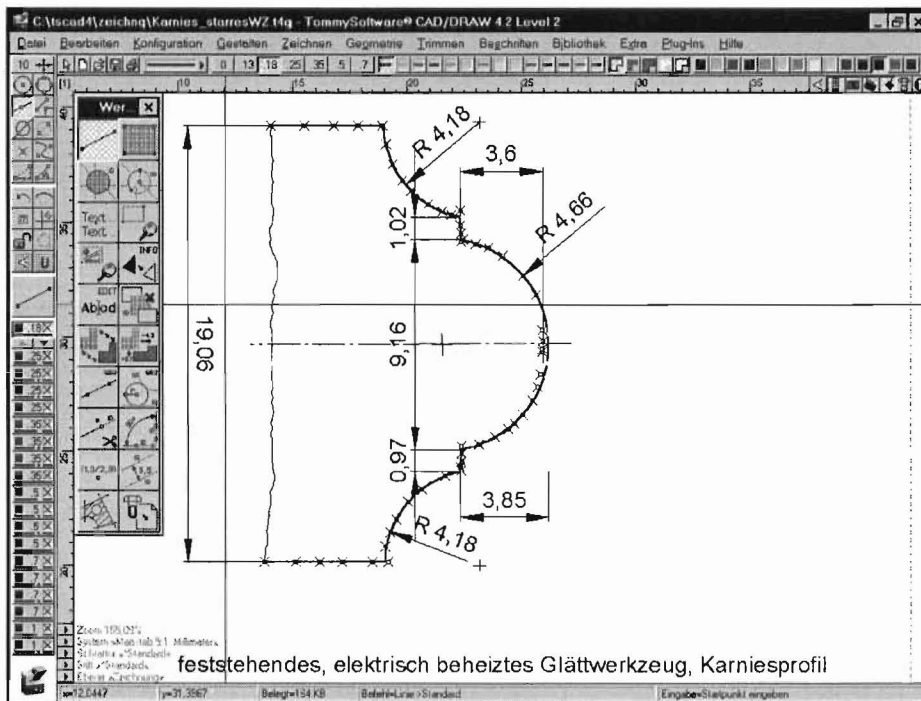


Abbildung 10: Rekonstruktion der Profilform in einem CAD-Programm

Auf Grundlage der nun als CAD-Zeichnung vorliegenden Profilform des Fräswerkzeuges werden in einzelnen geometrischen Abschnitten für das zu entwerfende Glättwerkzeug Korrekturen entsprechend dem Dichteprofil des zu bearbeitenden MDF-Werkstoffes festgelegt. Basierend auf Erfahrungswerten beträgt der Korrekturwert für die Profilabschnitte des Glättwerkzeuges, die mit der Zone geringerer Dichte des MDF-Werkstoffes in Berührung kommt 0,2 mm senkrecht zur Plattenebene. Dieser erforderliche Korrekturwert nimmt in den Profilabschnitten bis zu den Randschichten des MDF-Werkstoffes linear bis auf Null ab, da in den Randschichten eine Profilkorrektur entfällt. In dieser Weise wird die Kontur des Glättwerkzeuges vorgegeben (siehe Abbildung 8).

Da die Glättwerkzeuge den gleichen Schaft wie die Fräswerkzeuge haben, kann für alle Schaftwerkzeuge zur Vermessung auf der Koordinatenmeßmaschine die gleiche Werkzeugaufnahme genutzt werden. Dieses Vorgehen erlaubt damit nicht nur die Vorgabe ex-

akter Korrekturwerte für das Glättwerkzeug sondern direkte Profilvergleiche zwischen Fräs- und Glättwerkzeug.

Die Meßgenauigkeit der Koordinatenmeßmaschine ist mit $1 \mu\text{m}$ angegeben. Mit der Auswahl der Meßpunkte für die geometrischen Figuren im CAD-Programm wird jedoch benutzerabhängig die Genauigkeit beeinflusst. Es wird davon ausgegangen, daß die Profilform mit einer Wiederholgenauigkeit von etwa $10 \mu\text{m}$ bis $20 \mu\text{m}$ rekonstruiert werden kann. Es hat sich gezeigt, daß diese Genauigkeit ausreichend ist.

5 Versuche

5.1 Orientierende Stichversuche

Die in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 beschriebene Glätteinrichtung wurde zunächst getestet und die zu untersuchenden Prozeßparameter und variierenden Bereiche festgelegt. Mit dem zylinderförmigen Werkzeug 1 zum Glätten der Schmalfläche (siehe Abbildung 5) konnte festgestellt werden, daß mit Hilfe der Regelung eine gute Temperaturkonstanz erreicht wurde (Abbildung 11). Dagegen sank beim Einsatz des Kehlwerkzeuges (Werkzeug 3 in Abbildung 5) dessen Temperatur während der Glättbearbeitung um ca. $50 \text{ }^\circ\text{C}$ unter die vorgegebene Solltemperatur (Abbildung 12).

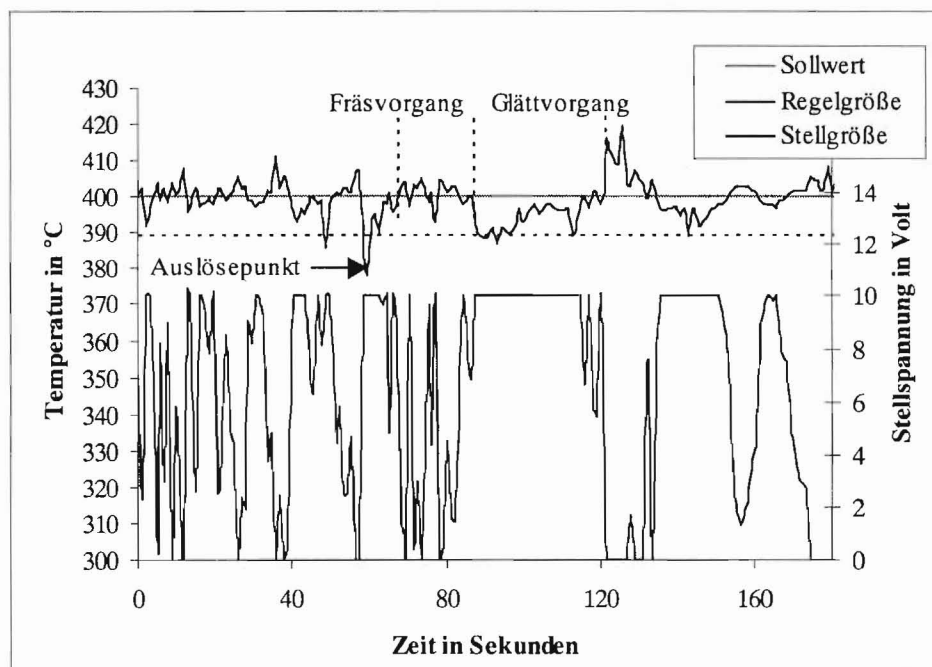


Abbildung 11: Temperaturverlauf beim Einsatz des zylindrischen Werkzeuges (Werkzeug 1)

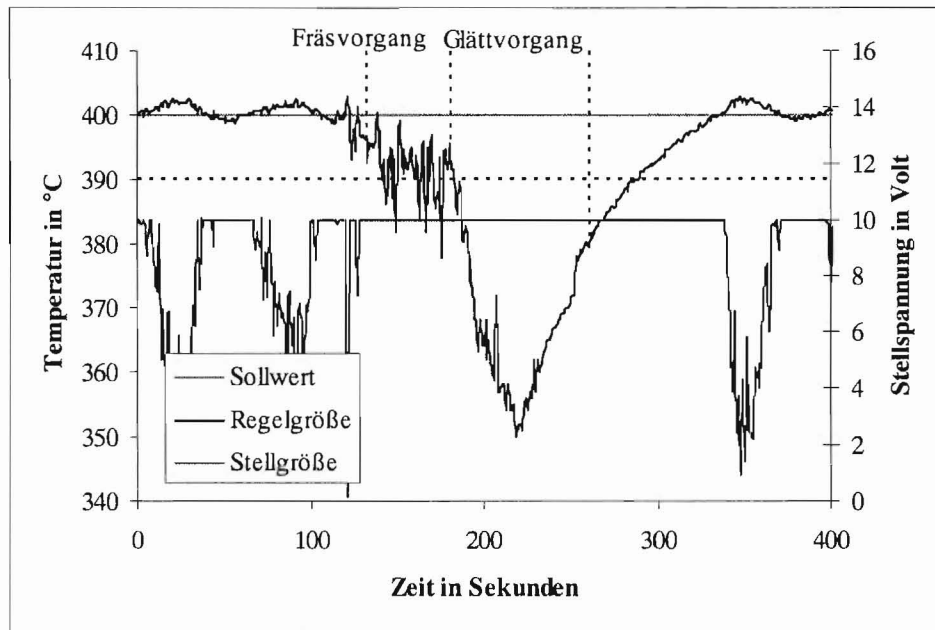


Abbildung 12: Temperaturverlauf beim Einsatz des Kehlwerkzeuges (Werkzeug 3)

Dieser Effekt war nicht auf eine zu geringe Heizleistung zurückzuführen. Wegen der Geometrie des Kehlwerkzeuges ist die Wärmeverteilung im Randbereich (Meßstellentemperatur) gegenüber der Arbeitsflächentemperatur im Vergleich zu den anderen Werkzeugen deutlich träger.

Mit den verfügbaren Glättwerkzeugen (siehe Abbildung 5) wurden testweise Versuchsreihen durchgeführt, um den möglichen und sinnvollen Umfang der Versuchsparameter festzulegen. Sowohl an den getesteten Massivhölzern (siehe Tabelle 1) als auch an MDF wurden durchweg gute bis sehr gute Glätteeffekte erreicht und eine hohe Paßgenauigkeit der Werkzeuge festgestellt. Die Güte der Oberflächen war mit denen der bisher bekannten Glättverfahren (Abschnitt 2) vergleichbar.

Die Vermutung, daß eine Profilkorrektur für verschiedene Plattentypen mit unterschiedlichem Rohdichteprofil separat erfolgen muß, konnte nicht bestätigt werden. Mit den aus der Werkzeugvermessung ermittelten Profilkorrekturen wurden mit gleichen Werkzeugen an allen getesteten MDF-Plattentypen gleichermaßen gute Glätteeffekte nachgewiesen. Aus diesem Grund wurden keine speziellen Untersuchungen zur Abhängigkeit der Werkstoffdichte und dem Maß der Profilkorrektur vorgesehen (Anlage 4).

Der Austausch des vorhandenen Pneumatikzylinders der Nennweite 32 mm durch einen Pneumatikzylinder der Nennweite 50 ermöglichte Kräfte bis ca. 1500 N für die Zustellbewegung des Sonderaggregates an der CNC-Bearbeitungsmaschine in z-Richtung (entspricht der Achsrichtung der Glättwerkzeuge). Dies hatte sich in den Vorversuchen als ausreichend erwiesen.

5.2 Untersuchungen zum Einfluß technologischer Parameter

5.2.1 Ermittlung relevanter Zielgrößen

Aufbauend auf bereits abgeschlossenen Untersuchungen anderer Glättverfahren sollten die durch das Thermoglätten erreichten Vergütungseffekte an Holz und Holzwerkstoffen unterschiedlicher Dichte und Zellstruktur nachgewiesen werden.

Besonders bei Massivhölzern geringer Dichte und Druckfestigkeit steht die Erhöhung der Oberflächenhärte durch den Verdichtungseffekt im Vordergrund [Sandig97], [Raatz98]. Exemplarisch wurden vorwiegend weiche Laubholzarten (Tabelle 1) mit verschiedenen Profilen versehen und visuell vergleichend bewertet.

Tabelle 1: Physikalisch-mechanische Eigenschaften der Holzarten [Sell87]

Holzart	Rohdichte (lufttrocken) ρ_{15} (g/cm ³) von...bis	E-Modul (N/mm ²) von...bis	Druckfestigkeit (N/mm ²) von...bis
Birke	0,65...0,73	13300...16200	42...60
Erle	0,49...0,57	7500...11500	41...54
Linde	0,48...0,57	7000...11000	43...53
Pappel	0,43...0,49	8100...9600	29...37
Roßkastanie	0,51...0,55	5300...6300	30...40

In [Raatz98] wurden im Zusammenhang mit der Untersuchung des Ultraschallglättens die Oberflächenhärte an den gleichen Laubholzarten bereits dokumentiert. Dabei wurde die Oberflächenhärte geglätteter Schmalflächen mit denen gefräster verglichen. Trotz starker Meßwertabweichungen konnte durch das Thermoglättverfahren eine Verbesserung der Oberflächenhärte um durchschnittlich mehr als 100 % nachgewiesen werden. Dieser Vergütungseffekt war bei den sehr weichen Laubhölzern (Linde, Pappel, Erle) besonders stark ausgeprägt. Das Meßverfahren zur Mikrohärteprüfung in Anlehnung an E-DIN 50359-1 ist nur für unprofilierte Oberflächen geeignet. Visuelle Beurteilungen bestätigen, daß beim Fixglätten vergleichbare Vergütungseffekte wie bei den anderen Thermoglättverfahren erzielt werden. Auf einen meßtechnischen Eigenschaftsnachweis an den geglätteten Massivholzproben wurde daraufhin verzichtet.

Die Untersuchung des Einflusses der Prozeßparameter auf die Eigenschaften des geglätteten Profils (Zielgrößen) wurde mit Mitteldichter Faserplatte (MDF) durchgeführt. Die plattenförmigen Werkstücke mit den Abmessungen 515 mm x 360 mm x 16 mm wurden mittels Vakuum auf der Spannvorrichtung (Kraftmeßtisch gemäß Abschnitt 5.2.2) der Versuchsmaschine fixiert.

Gemäß den Voruntersuchungen wurden in Versuchsreihen folgende Einflußgrößen variiert (Tabelle 2):

Tabelle 2: Versuchsparameter zum Fixglätten

Profilform	Kehlprofil	rechtwinklige Schmalfläche
Werkzeug gemäß Abbildung 5	Werkzeug 3	Werkzeug 1
Werkzeugtemperatur (°C)	300; 350; 400	300; 350; 400
Vorschubgeschwindigkeit (m/min)	1; 2; 3; 5; 7; 9; 12	1; 2; 3; 5; 7; 9; 12
Zustellung (mm)	0,6; 0,8; 1,0	0,2; 0,4; 0,6

Je Versuch wurden bei der rechtwinkligen Schmalfläche 4 Proben bearbeitet und beim Kehlprofil je 3. Vor dem Glättvorgang wurde das entsprechende Profil bei der Werkzeugdrehzahl von 18.000 min^{-1} und einer Vorschubgeschwindigkeit von 5 m/min gefräst. Im Anschluß daran erfolgte bei gleicher Aufspannung die Glättbearbeitung mit den eingestellten Prozessparametern gemäß Tabelle 2. Die realisierte Zustellgröße ist dabei stets orthogonal auf die Profilfläche gerichtet. Das entspricht beim Glättwerkzeug für das Kehlprofil einer Zustellrichtung in Längsachse des Werkzeuges (= z-Richtung gemäß Koordinatensystem der CNC-Bearbeitungsmaschine); beim zylindrischen Glättwerkzeug für die rechtwinklige Schmalfläche erfolgte die Zustellung in y-Richtung (Abbildung 13).

Während der Versuche wurden die beim Glätten auftretenden Reaktionskräfte aufgezeichnet. Als Zielgröße für den erreichten Vergütungseffekt wurde die Oberflächenrauheit an einer Reihe geglätteter Profilflächen gemessen.

5.2.2 Kraftmessungen

Für die Messung von Kräften während der Bearbeitung steht an der CNC-Bearbeitungsmaschine eine piezoelektrische 3-Komponenten-Meßplattform zur Verfügung. Dieser Bausatz Typ 9366AB (Fa. Kistler) wurde durch eine kundenspezifische Adapterplatte ergänzt, die es gestattet, plattenförmige Werkstücke - wie in der Holzbearbeitung üblich - mittels Vakuum zu spannen (Abbildung 13). Der angeschlossene Ladungsverstärker Typ 5019A13 (Fa. Kistler) wandelt die von der piezoelektrischen Meßplattform erzeugten Signale in meßbare Spannungen um. Ein separater Meß-PC vom Typ DOLCH PAC586 zeichnet mit Hilfe einer Datenerfassungskarte AT-MIO-16E1 (National Instruments) die Signale digital auf. Für die nachfolgende Auswertung werden diese Signale im ASCII-Format auf der Festplatte des Meß-PC abgelegt. Der komplette Meßablauf wird durch ein unter LabVIEW 4.0.1 erstelltes Programm gesteuert (Abbildung 13). Zusätzlich übernimmt es die Parametereinstellung am Ladungsverstärker via serielle Schnittstelle.

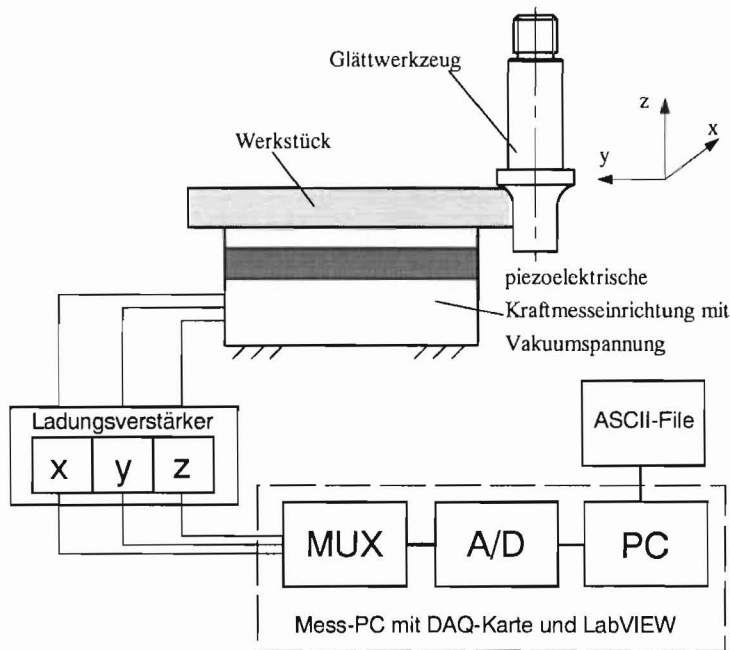


Abbildung 13: Prinzip der Kraftmessung am CNC-Bearbeitungszentrum

Für das Kehlprofil wurden in 3 Versuchen gemäß Abschnitt 5.2.1 je Variante 3 Datensätze in den relevanten Krafrichtungen (z- und x-Richtung) aufgenommen; beim Glätten der rechtwinkligen Schmalfläche je 4 Datensätze in y- und x-Richtung. Die gemessenen Kraftvektoren entsprechen den Richtungen der Zustell- und Vorschubbewegung.

Die Auswertung der aufgezeichneten Signale erfolgte separat. Dabei wurde aus jedem aufgezeichneten Kanal für die Zeitdauer der Glättbearbeitung der resultierende Effektivwert berechnet (Abbildung 14).

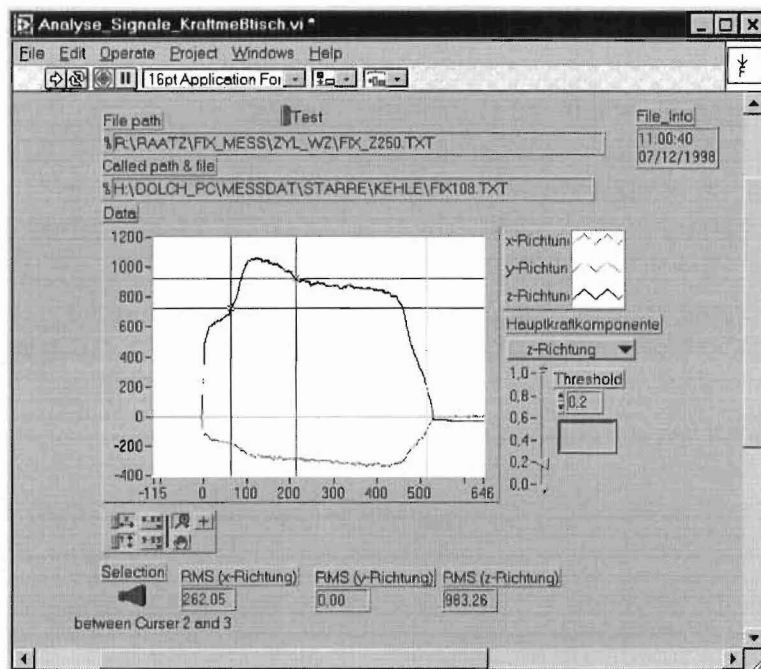


Abbildung 14: Beispiel für den Kraftverlauf beim Glätten des Kehlprofils

Während beim Glätten der rechtwinkligen Schmalfläche eine relativ gute Konstanz des Kräfteverlaufes erreicht wurde, änderte sich bei der Bearbeitung des Kehlprofils der Kraftverlauf in Zustellrichtung (z-Koordinate) signifikant (siehe Abbildung 14). Ursache dafür ist vermutlich eine zu biegeeweiche Unterkonstruktion des Kraftmeßtisches, da sowohl die Maschine als auch die Adapterplatte der Kraftmeßplattform für diese hohen Belastungen nicht ausgelegt sind. Der ungleichförmige Kraftverlauf erschwerte die spätere Auswertung der aufgezeichneten Signale, so daß bestimmte Bereiche für die Berechnung von Kennwerten festgelegt werden mußten.

5.2.3 Messung der Eigenschaften geglätteter Oberflächen

Die Oberflächenqualität der geglätteten MDF-Proben wurde mit Rauheitsmessungen nach dem Tastschnittverfahren ermittelt (DIN 4768). Eingesetzt wurde dafür das Perthometer S3P mit einem Tastspitzenradius von $5\ \mu\text{m}$ und einer gewählten Grenzwellenlänge von 2,5 mm. Auf einer Meßstrecke von 56 mm wurden als signifikante Werte die gemittelte Rauhtiefe R_z und die Wellentiefe aus je 3 Einzelmessungen berechnet. Die Meßrichtung war der Vorschubrichtung während der Bearbeitung entgegengerichtet, um gegebenenfalls Restrauheiten durch aufstehende Fasern mit zu erfassen.

Beim *Kehlprofil* erfolgte die Rauheitsmessung an den drei geglätteten Bahnen an jeweils gleichen Bearbeitungsabschnitten, in denen gleiche Bedingungen hinsichtlich der Werkzeugtemperatur und Krafteinwirkung vorlagen.

An der *rechtwinkligen Schmalfläche* wurde wegen der guten Konstanz von Werkzeugtemperatur und Krafteinwirkung von den je vier geglätteten Kanten eine für die Rauheitsmessung ausgewählt und 3 Rauheitsmessungen in unterschiedlichen Bearbeitungsabschnitten durchgeführt.

Wegen der sehr großen Probenanzahl wurden jene mit solchen Prozeßparametern ausgewählt, die tendenzielle Aussagen über die Wirkung der einzelnen Prozeßparameter auf die durch das Fixglätten bearbeiteten Oberflächen prinzipiell zulassen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Für die Rauheitsmessung ausgewählte Proben

Profilform	Kehlprofil	rechtwinklige Schmalfläche
Werkzeug gemäß Abbildung 5	Werkzeug 3	Werkzeug 1
Werkzeugtemperatur ($^{\circ}\text{C}$)	350	300; 350; 400
Vorschubgeschwindigkeit (m/min)	2; 5; 9; 12	2; 5; 9; 12
Zustellung (mm)	0,6; 0,8; 1,0	0,2; 0,4; 0,6
Anzahl der Varianten	12	36

5.2.4 Wirkung der Prozeßparameter auf den Glättprozeß

Die Vergütungseffekte beim Fixglätten bestätigen die bisherigen Erkenntnisse, daß unabhängig von der Art der Wärmeerzeugung an Holz und Holzwerkstoffen Rauheitsminderungen erreicht werden können. Neben der Höhe des Preßdruckes, der durch die Zustellung

des Glättwerkzeuges ausgeübt wird, ist die Dauer der Wärmeeinwirkung für den Glättfekt entscheidend. Diese Dauer beeinflusst den Aufschmelzprozeß holzeigener Klebstoffe in der Werkstoffmatrix und wird wesentlich von der Vorschubgeschwindigkeit und der Geometrie des Werkzeuges bestimmt (siehe Abschnitt 1).

Aus den unter Abschnitt 5.2.1 beschriebenen Versuchen wurden die Meßergebnisse gemäß den Abschnitten 5.2.2 (Kraftmessungen) und 5.2.3 (Messung der Oberflächeneigenschaften) systematisiert. Die erhaltenen Parametersätze charakterisieren typische Stützstellen, die für die Ableitung von Modellen hinreichende Bedingungen liefern.

Zunächst wurden die Wirkung der Einflußgrößen *Vorschubgeschwindigkeit*, *Werkzeugtemperatur* und *Zustellung* auf die Zielgrößen *Rauheit* und *Welligkeit* durch Korrelationsanalysen untersucht. Als zusätzliche Zielgröße wurden die Kraftvektoren in Richtung der Zustellgröße und in Vorschubrichtung berechnet (Abschnitt 5.2.2). Diese Analysen geben Aufschluß über die Wirkung der Prozeßparameter auf die Oberflächenqualität und über Zusammenhänge innerhalb des Glättprozesses.

Die an Hand der Signalverläufe berechneten Kraftvektoren und abgeleiteten Reibwerte liefern dabei Aussagen zur Belastung der Vorschubeinrichtungen sowie der gesamten Maschinenkonstruktion. Die Meßwerte zeigen, daß für die näher untersuchten Profile beim Fixglätten die Belastung auf ca. 25...50% gegenüber dem Rotationreibglätten (siehe Abschnitt 2) reduziert wird, wenn vergleichbare Oberflächenqualitäten erzielt werden (Diagramme Anlage 1.4). Dennoch liegen Fräskräfte mit ca. 50 N deutlich niedriger [Raatz94].

Mit größerer *Zustellung* steigt auch die zwischen dem Glättwerkzeug und der Werkstückoberfläche (Profilfläche) eingeleitete Kraft. Damit nimmt die Belastung an der Maschine zu. Der Anstieg der Geraden gemäß Abbildung 15 liefert Aussagen über die Gesamtsteifigkeit, die aus den einzelnen Steifigkeiten der Maschinenkonstruktion, der Werkstückspanneinrichtung und den Eigenschaften des Werkstückstoffes resultiert.

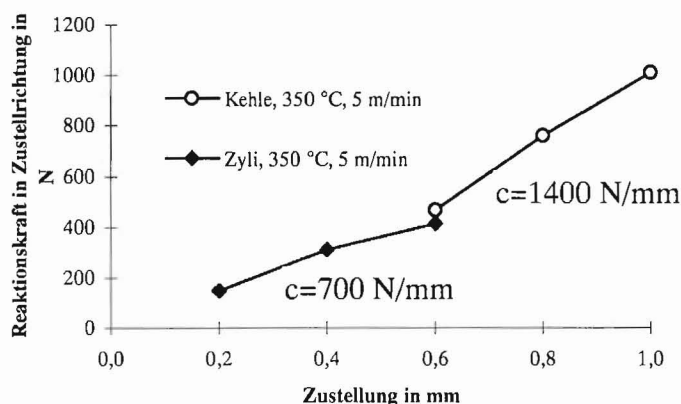


Abbildung 15: Vergleich der Maschinensteifigkeit beim Glätten verschiedener Profile

Des weiteren kann an Hand der Meßdaten gezeigt werden, daß die Gesamtsteifigkeit von der Richtung der angreifenden Kraft abhängt. Der unterschiedliche Anstieg der in Abbildung 15 dargestellten Geraden liefert an dieser Stelle eine konkrete Aussage über die richtungsabhängige Steifigkeit, die bei den verschiedenen Profilen wirksam war. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die hier dargestellte Gesamtsteifigkeit aus den oben aufgeführten Einzelsteifigkeiten resultiert.

Die *Werkzeugtemperatur* beeinflusst die Oberflächenqualität in dem untersuchten Bereich von 300 °C bis 400 °C nicht signifikant. Dies zeigt sich auch in einem niedrigen Korrelationskoeffizienten zwischen den beiden Größen (Anlagen 1.5 und 2.5). Es ist aber bekannt, daß erst Werkzeugtemperaturen oberhalb 200 °C signifikante Glätteeffekte bewirken. Dies hat seine Ursache in der Erweichungstemperatur der holzeigenen Klebstoffe. Im Hinblick auf maximal mögliche Vorschubgeschwindigkeiten sollte aber an der technisch möglichen Obergrenze für die Werkzeugtemperatur gearbeitet werden.

Einen wesentlichen Einfluß auf die Qualität der geglätteten Fläche hat die *Vorschubgeschwindigkeit*. Das drückt sich den vergleichsweise hohen Korrelationskoeffizienten von 0,87 (rechtwinklige Schmalfläche, Anlage 1.5) und 0,79 (Kehle, Anlage 2.5) aus. Damit wird bestätigt, daß der Aufschmelzprozeß für die Plastifizierung der holzeigenen Klebstoffe von der Dauer der Wärmeeinwirkung auf der Profilfläche abhängt. Da der aus den Kraftvektoren in Zustell- und Vorschubrichtung berechnete Reibwert von der Vorschubgeschwindigkeit in gleicher Weise abhängt, ist davon auszugehen, daß die Viskosität der holzeigenen Klebstoffe mit der Dauer der Temperatureinwirkung niedriger wird (Anlage 1.4).

Ausgehend von den Kräften in Zustellrichtung interessieren die Reibwerte im Zusammenhang mit den auf die Bearbeitungsmaschine und gleichermaßen auf das Werkstück wirkenden Vorschubkräfte. Die beim Fixglätten ermittelten Reibwerte zeigen gute Übereinstimmung mit Tabellenwerten (Eiche auf Stahl: 0,2 ... 0,5 Gleitreibung), liegen aber deutlich über den beim Ultraschall erreichbaren (0,03 ... 0,09). Können beim Glätten kleine Reibwerte realisiert werden, reduzieren sich die Vorschubkräfte und die auf das Werkstück einwirkenden Belastungen in einer Richtung.

Beim Vergleich der Rauheitswerte R_z von rechtwinkliger Schmalfläche und Kehlprofil fällt auf, daß sich die Werte für das Kehlprofil (Anlage 2.4) in einem kleineren Bereich bewegen als die Werte für die rechtwinklige Schmalfläche (Anlage 1.4). Allerdings sind beim letztgenannten Profil deutlich geringere Rauheiten möglich. Die Ursache dafür könnte - trotz der größeren Kräfte - im geringeren spezifischen Druck an der Kontaktstelle von Glättwerkzeug und dem Werkstück liegen, da das Glättwerkzeug für das Kehlprofil über eine projizierte Breite von 38 mm anliegt.

Die Welligkeit W_t zeigt beim Kehlprofil keine eindeutige Tendenz zu den übrigen Einflußgrößen; dies bestätigt auch der in der Matrix angegebene Korrelationskoeffizient (Anlage 2.5). Dagegen ist für die rechtwinklige Schmalfläche ein Zusammenhang zur Vorschubgeschwindigkeit erkennbar, der sich annähernd wie die Rauheit R_z verhält (Anlage 1.5). Auch der Korrelationskoeffizient in Höhe von 0,84 in der Korrelationsmatrix weist hier auf einen guten inneren Zusammenhang der beiden Zielgrößen hin. An Hand des Diagramms ist jedoch ersichtlich, daß sich der oben genannte Effekt bei niedriger Vorschubgeschwindigkeit umkehren kann (Anlage 1.4). Bei großer Zustellung wird die Oberfläche der rechtwinkligen Schmalfläche zunehmend welliger. Dieser Effekt wurde auch von [Brückner94] beobachtet. Die beschriebene Welligkeit äußert sich nicht als regelmäßiges Muster. Damit ist hier auszuschließen, daß die Oberflächenunruhe durch Messerschläge beim Fräsen entstanden sein könnte. Das „grieslige“ Oberflächenbild zeigt eher eine Abhängigkeit mit der Struktur grober Faserpartikel. Das Auftreten der „griesligen“ Struktur könnte somit am unterschiedlichen Rückfederungsverhalten einzelner Holzpartikel liegen. Bei anderen Glättverfahren wurde dieser Effekt bisher nicht beobachtet.

Beim Kehlprofil bewegt sich die Welligkeit W_i insgesamt auf einem höheren Niveau (Anlage 2.3 und 2.4). Die Ursache könnte in den bei allen Zustellungen wirksam werden den hohen Drücken liegen oder auch in der veränderten Faserorientierung gegenüber der rechtwinkligen Schmalfläche. Ein Vergleich der absoluten Zustellgrößen scheidet aus, weil die Gesamtsteifigkeiten, wie oben bereits beschrieben, sich richtungsabhängig unterscheiden.

5.3 Umweltrelevanz und Emissionen beim Fixglätten

Gegenüber den landläufigen Schleifverfahren bietet das Fixglätten als spanloses Thermoglättverfahren den erheblichen Vorteil, daß während der Bearbeitung keine gesundheitsgefährdenden Stäube freigesetzt werden (Einhaltung von TRGS). Außerdem wird an den gefrästen Profilen ein hoher Vergütungseffekt mit vermindertem Zeitaufwand erreicht. Das führt dazu, daß die Dicke der Beschichtung und der Applikationsaufwand reduziert werden kann.

Bei der Wärmeeinwirkung auf Holz über längere Zeitabschnitte können bei Temperaturen über 60 °C nachweisbare Emissionen entstehen, die zu Geruchsbelästigungen führen können [Aehlig96]. Beim Thermoglätten, speziell beim Fixglätten, kommt das beheizte Werkzeug mit der Holz- oder Holzwerkstoffoberfläche - wegen der kleinen Kontaktfläche nur kurzzeitig in Berührung.

Um die dabei eventuell auftretenden Emissionen nachzuweisen, wurden während des Fixglättens von Mitteldichter Faserplatte an der Entstehungsstelle die gasförmigen Emissionen erfaßt und einer chemischen Analyse unterzogen.

An der CNC-Bearbeitungsmaschine wurden dazu zwei unterschiedliche Prozeßzustände gemäß Tabelle 4 eingestellt. Ein Prozeßzustand führte zu einer mittleren Glättqualität (Versuchsreihe 2); der zweite Prozeßzustand bei hoher Glättqualität zu einer stark dunklen Färbung des geglätteten Profils (Versuchsreihe 3). Gearbeitet wurde mit dem Werkzeug 3 (Kehlwerkzeug, Abbildung 5), da wegen der großen Profilfläche vergleichsweise starke Emissionen erwartet wurden. Die gewählten Prozeßzustände können nicht als praxisrelevant angesehen werden; es wurden aber bewußt zwei Extrema ausgewählt, um Aussagen zu den Emissionen über einen großen Bereich zu ermöglichen.

Tabelle 4: Versuchsplan für Emissionsmessungen

Versuchsreihe	Bezeichnung	Vorschubgeschwindigkeit	Werkzeugtemperatur	Zustellung	Anzahl der Platten*
1	Orientierungsversuch	7 m/min	350 °C	1 mm	1
		1 m/min	400 °C	1 mm	3
2	Glättqualität - mittel -	7 m/min	350 °C	1 mm	14
3	Glättqualität - dunkel -	1 m/min	400 °C	1 mm	6

* 4,2 m Profillänge je Platte

Über der Glätteinrichtung wurde die Luft mittels einer Haube und einem angeschlossenen Absaugsystem abgeführt (Abbildung 16). Die Emissionen wurden in einem definierten Bypass gemessen (Abbildung 17). Folgende Abgasrandbedingungen lagen damit vor:

Volumenstrom: $90 \text{ m}^3/\text{h}$
Luftgeschwindigkeit: 1 m/s
durchströmte Fläche: $0,0248 \text{ m}^2$
Profillänge: 4200 mm/Platte
geglättete Fläche: $0,15 \text{ m}^2/\text{Platte}$

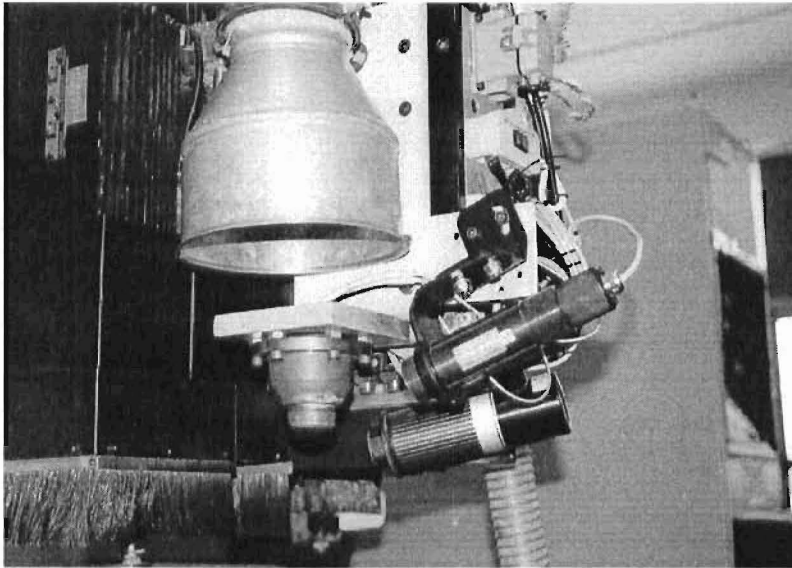


Abbildung 16: Absaughaube über der Glätteinrichtung für Emissionsmessungen

Auf Grund der erforderlich langen Meßdauer für die chemische Analyse wurden beim Glätten mit der Vorschubgeschwindigkeit von 7 m/min insgesamt 14 Platten geglättet. Das entspricht einer Profillänge von insgesamt $58,8 \text{ m}$. Bei der Vorschubgeschwindigkeit von 1 m/min wurden für eine komplette Messung 6 Platten benötigt (entspricht $25,2 \text{ m}$ Profillänge).



Abbildung 17: Probennahme- und Analysetechnik

Analyse

Die Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen (Emission) wurde mittels Adsorption an TENAX mit anschließender Thermodesorption mit Kryofokussierung und gaschromatografischer Bestimmung (GC/MSD) durchgeführt.

Die Bestimmung von Formaldehyd erfolgte durch Adsorption an Silicagel, Desorption mit dest. Wasser und anschließender photometrischer Bestimmung nach der Acetyl-Aceton-Methode.

Für die Bestimmung der PAKs wurden von der geglätteten Oberfläche jeweils ca. 1,5 g entnommen, zerkleinert und mit 50 ml Aceton 6 h im Soxhlet extrahiert. Die Proben wurden auf je 1,4 ml eingeeignet und mittels GC/FID analysiert.

Darüber hinaus wurden Materialproben (je 10 bis 20 mg) von der geglätteten Profiloberfläche hinsichtlich ihres Gehaltes an flüchtigen organischen Verbindungen mittels GC/MSD untersucht.

Ergebnisse

Tabelle 5: Emission von Formaldehyd während der Glättbearbeitung

Versuchsreihe	Material	Konzentration mg/m ³	Massenstrom mg/h	spez. Emission mg/m ²
3	14 Platten -mittel-	0,122	10,98	0,70
3	6 Platten -dunkel-	0,057	5,13	2,28

Tabelle 6: Gesamt-VOC (Summenparameter) während der Glättbearbeitung

Versuchsreihe	Material	Konzentration mg/m ³	Massenstrom mg/h	spez. Emission mg/m ²
2	14 Platten -mittel-	0,217	19,53	1,24
3	14 Platten -mittel-	0,285	25,69	1,63
3	6 Platten -dunkel-	0,105	9,43	4,19

Die Auswertung der „Luftproben“ ist problematisch, da die Umgebungsluft bereits deutliche Mengen an flüchtigen organischen Verbindungen enthält. Daher ist eine qualitative Bestimmung der durch das Glätten verursachten Emissionen nicht möglich.

Bezüglich Konzentration und Massenstrom führen die „mittel“ geglätteten Proben zu höheren Emissionen als die „dunkel“ geglätteten. Die auf die geglättete Fläche bezogenen Emissionen sind - erwartungsgemäß - für die dunklen Proben mit hoher Glättqualität größer.

Tabelle 7: Flüchtige organische Verbindungen (Summenparameter) aus Materialproben

Material	Konzentration mg/kg	Konzentration mg/m ²	Differenz zu ungeglättet mg/m ²
ungeglättet	0,206	4,1	
geglättet mittel	0,135	2,7	1,4
geglättet dunkel	0,115	2,3	1,8

In den Materialproben wurden folgende Hauptkomponenten ermittelt:
(Angaben beziehen sich auf den Gesamt-VOC-Gehalt gemäß Tabelle 7)

Essigsäure:	4 bis 9 %
Hexanal:	6 bis 14 %
Hexansäure:	3 bis 5 %
1-Ethyl-2-Hexansäure:	19 bis 52 %
Oktansäure:	4 bis 14 %
Nonansäure:	26 bis 28 %
Dekansäure:	3 bis 15 %

Es wurde festgestellt, daß sich der Gehalt an flüchtigen organischen Verbindungen nach dem Glätten reduziert hat, wobei deutliche Unterschiede zwischen hellem und dunklem Material zu verzeichnen sind. Die dunklen Proben haben auf Grund der hohen thermischen Belastung den geringsten Gehalt an VOC.

Es kann angenommen werden, daß die Verminderung der VOC-Konzentration den während des Glättvorgangs entstehenden Emissionen entspricht.

PAKs wurden nicht nachgewiesen.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß die durch das Glätten entstehenden Emissionen sehr gering sind und keine gesundheitsschädlichen Auswirkungen auf den menschlichen Organismus haben.

5.4 Beschichtungsversuche

5.4.1 Lackierung mit Flüssigbeschichtungen

Es wurden Lackiersversuche an geglätteten Frontelementen der Größe 320 mm x 250 mm x 16 mm aus MDF durchgeführt, die auf der Breitfläche mit dem Kehlprofil versehen waren und an den Außenkanten umlaufend mit dem abgerundeten Außenprofil (Profile siehe Abbildung 6). Die Glättparameter wurden so gewählt, daß eine optimale Oberflächenqualität erreicht wurde, die minimale Lackauftragsmengen erfordert. Diese Randbedingungen wurden in umfangreichen Vorversuchen ermittelt.

Für die Beschichtung wurden zwei unterschiedliche Lacksysteme eingesetzt. Ein 2K-PUR-Lacksystem auf Lösemittelbasis und ein Wasserlacksystem. Die Verarbeitungsmengen und -parameter sind in Anlage 3 angegeben. Grundsätzlich erfolgte in beiden Varianten zuerst ein Füllerauftrag und nach dem Trocknen ein Zwischenschliff. Anschließend wurde ein Decklack (schwarz beim 2K-PUR-System; rot beim Aqua-System) aufgebracht und vor

dem Trocknen ein Klarlack als mechanische Schutzschicht „naß in naß“ appliziert. Die Summe der Auftragsmengen beträgt dabei ca. 400 g/m²; dabei wird eine Trockenfilmdicke von durchschnittlich weniger als 180 µm erreicht (Tabelle 8).

Tabelle 8: Versuchsplanung für Lackierversuche an geglätteten MDF-Platten

Variante	Aqua-System	Menge	2K-PUR-Sstem	Menge
Füller	Oli Finish Aqua Füller 15.88	ca. 200 g/m ²	Oli Finish 2K-PUR-Füller 40.30 mit Härter 11.1/HV	180 ... 200 g/m ²
Zwischen-schliff	Körnung 320		Körnung 320	
Lackierung	Oli Finish Aqua Spritzlack 15.10-3 RAL 2002 -blutorange-	80 ... 110 g/m ²	Oli Finish 2K-PUR-Lackfarbe 40.25 RAL 9005 mit Härter 11.1/HV -schwarz-	ca. 100 g/m ²
Klarlack	Oli Finish Aqua Spritzlack 15.10-3 farblos, seidenmatt	80 ... 110 g/m ²	Oli Finish 2K-PUR-Lack 25.50-2 matt mit Härter 11.1/HV	ca. 80 g/m ²

Dieser relativ dünne Lackfilm erfordert fehlerfreie Oberflächen. Während die Beschichtung in den Profilflächen als optisch einwandfrei einzuschätzen ist, zeichnen sich jedoch beim 2K-PUR-Lacksystem die Schleifspuren des werksseitigen Kalibrierschliffes auf der glänzenden Breitfläche der MDF-Platten deutlich sichtbar ab.

Beim Aufbringen des Aqua-Lacksystems führt das enthaltene Wasser zu Quelleffekten einiger Fasern auf der Oberfläche. In den geglätteten Profilbereichen ist dieser Quelleffekt minimal. Er wird durch den Zwischenschliff nach dem Füllerauftrag egalisiert und durch den weiteren Schichtaufbau überdeckt. Dagegen zeichnen sich auf der - nur geschliffenen - Breitfläche der MDF-Platten insbesondere große Faserpartikel ab. Dadurch entsteht eine optisch störende Unruhe auf der endbehandelten Oberfläche.

Das zeigt, daß in den normalerweise kritischen Profilbereichen durch das Fixglätten ein für die Flüssigbeschichtung hervorragender Vergütungseffekt erreicht wird. Davon ausgehend ist es möglich, den Schichtaufbau gegenüber der traditionellen Lackiertechnologie hinsichtlich Anzahl der Schichten und Lackauftragsmenge drastisch zu reduzieren.

Schwierigkeiten bereiteten die Eigenschaften der Breitfläche von MDF. Diese Flächen werden nach dem Herstellungsprozeß ab Werk normalerweise mit einer Schleifkörnung von 80 bis 120 kalibriert. Um das Durchzeichnen von Schleifriefen oder Faserpartikeln zu verhindern, sollte die MDF-Platte vor der Beschichtung mit einer Schleifkörnung >320 feingeschliffen werden. Alternativ dazu kann die Auftragsmenge für den Füller erhöht und/oder gegebenenfalls ein zweiter Füllerauftrag erfolgen, der einen zusätzlichen Zwischenschliff erfordert.

Denkbar ist auch die Verwendung von Grundierfolien, wobei die Profilierung mittels Fräser und Vergütung durch das Glättwerkzeug erst nach dem Aufpressen der Folie erfolgt.

5.4.2 Beschichtung mit Folien

PVC-Folie

Die Beschichtung mit PVC-Folien stellt eine vergleichsweise einfache und preiswerte Beschichtungstechnologie dar, die als Endprodukt eine robuste Oberflächenqualität liefert. Kleine Oberflächenfehler wie z.B. Schleifspuren, Faserpartikel, etc. werden bei Foliendicken ab 0,7 mm überdeckt. Scharfe Kanten können erfolgreich beschichtet werden, wobei filigrane Profile - bedingt durch die Stärke des Beschichtungsmaterials - zum Teil nicht scharf abgebildet werden können.

Teilweise wurde an den Kanten eine Oberflächenunruhe beobachtet, deren Ursache im Leimauftrag oder anderer Vorbehandlungstechniken liegen kann.

Wegen der günstigen Fehlerüberdeckung oder -retuschierung wäre ein Thermoglättprozeß nicht zwingend erforderlich, trägt aber dennoch zur Oberflächenverbesserung insbesondere bei glänzenden unifarbenen Folien bei.

Transferfinish

Im Gegensatz zu den mit PVC-Folie beschichteten Proben tritt besonders an scharfen Ecken der sog. Weißbruch auf. Dieser äußert sich darin, daß das Beschichtungsmaterial lokal stark überdehnt wird und sich weiß zeichnet. Die Ursache könnte in der sehr geringen Schichtdicke des Beschichtungsmaterials liegen.

Außerdem zeichnet sich eine langwellige Oberflächenunruhe sowohl auf der Breitfläche als auch auf den Profilflächen ab. Auf der lediglich geschliffenen Breitfläche werden so grobe Faserpartikel sichtbar. Es wird davon ausgegangen, daß dafür Faserquellungen durch Leimangabe und/oder Rückfederung der Fasern bei der Temperatureinwirkung in der Membranpresse verantwortlich sind.

5.4.3 Verhalten im Wechselklima

An Frontelementen wurde die Dauerhaftigkeit der Lackierung durch verschiedene Wechsel- und Feuchteklimatests untersucht.

Für die Versuchsdurchführung wurden gemäß Tabelle 9 folgende Varianten getestet [Emmler99]:

Tabelle 9: Lackierte Varianten für Wechselklimatest

Variante	Vorschubgeschwindigkeit	Werkzeugtemperatur	Farbe des Decklackes	Lacksystem
13	5m/min	400 °C	schwarz	2K-PUR
17	3m/min	400 °C	schwarz	2K-PUR
19	3m/min	400 °C	schwarz	2K-PUR
5	5m/min	400 °C	rot	Aqua
9	3m/min	400 °C	rot	Aqua
10	3m/min	400 °C	rot	Aqua

Alle Prüfkörper wurden auf der Rückseite abgeklebt, um das Eindringen von Feuchtigkeit von der unbeschichteten Seite her zu verhindern.

Versuchsdurchführung:

1. Bestimmung der Wechselklimabeständigkeit nach DIN 68930 Küchenmöbel

Folgender Zyklus wurde 3 mal durchgeführt.

- 5 h bei 23 °C und 83 % rel. LF
- 14 h bei 40 °C und 92 % rel. LF
- 24 h bei 23 °C und 50 % rel. LF

2. Bestimmung der Feuchtklimabeständigkeit nach ihd-Werkstandard 424 Modul 2

- 7 Tage 50 °C / 85 % rel. LF
- 7 Tage 20 °C / 35 % rel. LF

3. Bestimmung der Wechselklimabeständigkeit nach ihd-Werkstandard 424 Modul 1

Folgender Zyklus wurde 20 mal durchgeführt:

- 0,5 h Abkühlung auf -20 °C mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 1,33±0,1 K/min
- 1 h Konstanttemperatur von -20 °C
- 0,5 h Aufheizen auf +20 °C mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 1,33±0,1 K/min
- 3 h Lagerung bei 20 °C und 85 - 75 % rel. LF
- 0,5 h Aufheizen auf +60 °C mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 1,33±0,1 K/min
- 3 h Lagerung bei 60 °C und 55 % rel. LF
- 0,5 h Abkühlen auf 20 °C mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 1,33±0,1 K/min

Ergebnisse:

Variante	Wechselklimabeständigkeit nach DIN 68930	7 Tage 50 °C / 85 % rel. LF	7 Tage 20 °C / 35 % rel. LF	Wechselklimabeständigkeit nach ihd-Werkstandard 424 Modul 1
13	--	--	--	--
17	--	--	--	--
19	--	--	--	--
5	--	--	--	--
9	--	--	--	--
10	--	--	--	--

-- keine sichtbaren Veränderungen oder Schädigungen

Auswertung:

Bei allen Varianten wurden sowohl bei Einwirken des Normalklimas nach DIN 68930, des Feuchtklimas nach ihd-Werkstandards 424 Modul 2 und des Wechselklimas nach ihd Werkstandard 424 Modul 1 keine Schäden festgestellt. Somit ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, daß bei ähnlichem Beanspruchungsniveau in der Praxis keine Schäden auftreten.

Diese Klimatests entsprechen einer überdurchschnittlichen Klimabelastung. Die beanspruchten Proben zeigten im Anschluß an den Test keinerlei sichtbare Veränderungen. Das heißt, daß trotz oder gerade wegen der vergleichsweise geringen Schichtdicke des Lackauf-

baues ein hohes klimatisches Beanspruchungsniveau der geglätteten Proben möglich ist. Solche Beanspruchungsklassen werden bei traditioneller Bearbeitungs- und Beschichtungstechnologie nur mit einem vielfachen Arbeits- und Materialaufwand erreicht. Da bei der herkömmlichen Applikationstechnologie wesentlich größere Schichtdicken aufgebracht werden (müssen), ist die Rißbildungsneigung - insbesondere an den sensiblen Kantenbereichen - wesentlich größer.

Der Vorteil des Fixglättens gegenüber dem Schleifen besteht darin, daß geringere Schichtdicken aufgebracht werden können. Diese zeigen ein günstiges Verhalten gegenüber Wechselklima, da geringe Schichtdicken des Lackfilmes die unvermeidbaren Maßänderungen des Trägerwerkstoffes leichter kompensieren.

Die mit Folie beschichteten Probekörper gemäß Abschnitt 5.4.2 wurden nicht dem Wechselklima unterzogen, da diese zum Versuchszeitpunkt nicht vorlagen. Es wird aber davon ausgegangen, daß durch den normalerweise geschlossenen Aufbau der Folie eine vergleichbar gute Beständigkeit gegenüber Wechselklima gewährleistet sein dürfte.

6 Ergebnisse und Möglichkeiten der Umsetzung

Maschine und Werkzeuge

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde ein spezielles Bearbeitungsaggregat für das Fixglätten an einem CNC-Bearbeitungszentrum konzipiert und erprobt. Der Vorteil des neuen Thermoglättverfahrens liegt im unkomplizierten Wärmeeintrag in das Werkzeug durch elektrische Beheizung und der einfachen Temperaturregelung. Der Wegfall rotierender Teile im unmittelbaren Bereich des Glättaggregates ermöglicht einen einfachen konstruktiven Aufbau dieses Bearbeitungsaggregates. Die Kräfte konnten gegenüber bisher möglichen Thermoglättverfahren um mehr als 50 % reduziert werden, liegen aber dennoch deutlich über den bei der traditionellen Fräsbearbeitung üblichen (Abschnitt 5.2.2). Es wird eingeschätzt, daß das Glätten mit nicht-rotierenden, elektrisch beheizten Werkzeugen (Fixglätten) für die industrielle Umsetzung auf modernen CNC-Holzbearbeitungsmaschinen gut geeignet ist.

Erforderlich dafür ist ein separater Geräteträger am Support einer CNC-Bearbeitungsmaschine, der durch die Steuerung exakt der Fräsbahn nachgeführt werden kann. Eine angepaßte Regelung muß die Werkzeugtemperatur auf den gewünschten Temperaturwert bringen und während der Bearbeitung halten. Die Montage der beheizten Elemente sollte möglichst gut isoliert erfolgen, damit unerwünschte Wärmeübergänge in die übrige Maschinenkonstruktion verhindert werden.

Die durchgeführten Versuche als auch umfangreiche - hier nicht dokumentierte - Versuche mit unterschiedlichen MDF-Platten, deren Dichteprofil zum Teil erheblich variierte, zeigen durchweg gute Glättergebnisse. Daraus kann abgeleitet werden, daß die an den verschiedenen Glättwerkzeugen realisierten Profilkorrekturen für die verwendeten Plattentypen gleichermaßen optimal geeignet sind. Im Rahmen des nun abgeschlossenen Projektes wurde die an der Forschungseinrichtung vorhandene Profilmess-technik genutzt und deren Kopplung mit einem CAD-System realisiert. Auf diese Weise konnten vorhandene Profilwerkzeuge hinsichtlich maßlicher Abweichungen erkannt sowie für die zu entwerfenden Glättwerkzeuge erforderliche Maß- und Toleranzvorgaben exakt formuliert werden. Die auf diesem Weg erreichten Glättergebnisse bestätigen die Richtigkeit der entsprechenden Maßvorgaben für die Profilkorrektur zwischen Fräs- und Glättwerkzeug (Abschnitt 4.2.3).

Für eine praktische Umsetzung seitens der Werkzeughersteller bedeutet dies, daß die Profilwerkzeuge auf üblichen CNC-Werkzeugmaschinen gefertigt werden können. Es ist jedoch sinnvoll, Fräs- und Glättwerkzeug paarweise zu fertigen. Unter Beachtung der dabei erforderlichen Profilkorrekturen ist auf diese Weise eine hohe Paßgenauigkeit und damit eine optimale Oberflächenqualität im gesamten Profilbereich gewährleistet.

Einflußgrößen

Die untersuchten Prozeßparameter zeigen zum Teil erheblichen Einfluß auf das Glättresultat. Um eine möglichst hohe Vorschubgeschwindigkeit zu realisieren, sollte eine Werkzeugtemperatur von 400 °C gewählt werden. Dann wird eine optimale Aufschmelzung der holzeigenen Klebstoffe erreicht. Die Zustellung sollte in Abhängigkeit von der - im Regelfall richtungsabhängigen - Steifigkeit der Anordnung möglichst groß gewählt werden - jedoch nicht zu groß, damit keine Unruhe auf der Oberfläche durch „grieslige“ Strukturen entsteht (Abschnitt 5.2.4). Die Zustellung von 0,4 mm kann für die rechtwinklige Schmal-

fläche als Optimalwert gelten, da sowohl gute Rauheitswerte als auch geringe Welligkeiten erreicht werden (Anlage .

Mit dem Fixglätten sind hochwertig geglättete Oberflächen mit einer nahezu geschlossenen glänzenden Oberfläche bis 5 m/min und unter optimalen Bedingungen hinsichtlich konstanter Temperatur und Druck bis 7 m/min zu erreichen. Damit steigen zwar einerseits die Maschinenkosten gegenüber dem Fräsvorgang und das Teil verbleibt länger auf der Maschine. Andererseits eröffnet sich mit dem Fixglätten ein erhebliches Rationalisierungspotential, da die Oberflächenvergütung und der Beschichtungsprozeß wesentlich gestrafft werden, weil auf mehrere Lackschichten und Zwischenschliffe bei der Flüssigbeschichtung (Lackierung) verzichtet werden kann.

Umwelt

Da beim Fixglätten auf den Holzschliff verzichtet werden kann und der Applikationsaufwand deutlich reduziert wird, werden umweltschädigende Emissionen weitgehend vermieden. Außerdem werden wegen der geringeren Schichtdicken weniger Lack- und Lösemitelressourcen benötigt. Da die geglätteten Profile auch für eine Beschichtung mit Lacken auf Wasserbasis geeignet sind, können entsprechende Hydro-Lacksysteme eingesetzt werden. Das bedeutet eine zusätzliche Entlastung der Umwelt (Abschnitt 5.4.1). Während des Glättvorganges waren keine gesundheitlichen Emissionen - resultierend aus den chemischen Veränderungen der Profilfläche beim Thermoglätten - nachzuweisen (Abschnitt 5.3).

Die geringe mögliche Schichtdicke des Lackfilmes bewirkt außerdem eine sehr geringe Rißbildungsneigung unter wechselnden klimatischen Bedingungen und damit einen deutlichen Qualitätsvorteil gegenüber traditioneller Naßlackierung (Abschnitt 5.4.3).

Verbreitung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projektes wurden bereits im Zusammenhang mit den anderen Thermoglättverfahren im Fachausschuß 5 (Holzbearbeitung) der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung und auch dem internationalen Fachpublikum präsentiert [Raatz99-1], [Raatz99-2]. Auf den Fachmessen INTERZUM 99 und LIGNA 99 wurden Demonstrationsobjekte ausgestellt und an Hand von Postern dokumentiert (siehe Abbildung 18). Damit wurde ein breites Fachpublikum angesprochen und über die Möglichkeiten der Realisierung der Thermoglättverfahren informiert. Während unter den Anwendern (insbesondere Möbel- und Frontenhersteller) das Interesse an der technischen Umsetzung groß ist, reagiert der Deutsche Maschinenbau zunächst noch zurückhaltend.

Zeitgleich wurde auf der LIGNA 99 ein dem Fixglätten ähnliches Verfahren von der Firma Wendt Maschinenbau, Georgsmarienhütte, unter dem Namen „Surface-Refine-Procedure“ vorgestellt [Wendt98]. Auch hier wird der bereits seit mehreren Jahren bekannte Effekt genutzt, die Holzoberfläche durch Einwirkung von Temperatur plastisch zu erweichen und die Holzfasern durch holzeigene Klebstoffe zu fixieren [Sander90]. Gegebenenfalls sollten Gespräche mit der o.g. Firma angebahnt werden, um deren technische Möglichkeiten und die Erfahrungen des Institutes für Holztechnologie Dresden gemeinsam für die Umsetzung der Forschungsergebnisse zu nutzen.

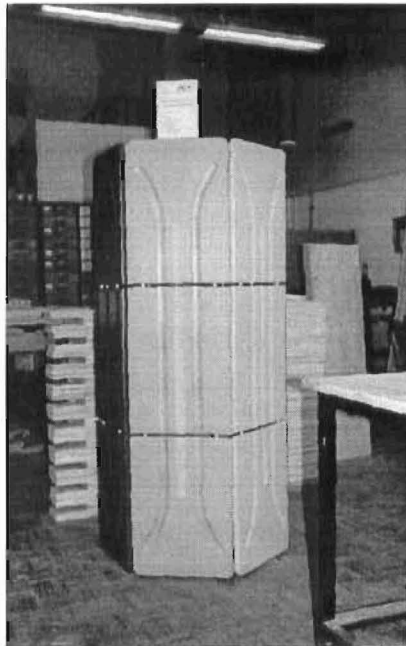


Abbildung 18: Demonstrationsobjekt mit geglätteten und lackierten Frontelementen aus MDF

Optimierung des Verfahrens

Für einen Praxiseinsatz sollte das Aggregat zum Fixglätten mit einem Schnellwechselsystem für die Glättwerkzeuge ausgerüstet sein. Die Werkzeuge sollten in den Arbeitspausen entsprechend temperiert werden, damit die Heizphase unmittelbar vor dem Eingriff kurz ist. Voraussetzung dafür ist die Entwicklung einer temperaturfesten Werkzeugschnittstelle mit temperaturgeregelter Energieversorgung. Außerdem sind die entsprechenden Prozeßkräfte bei der Auslegung zu berücksichtigen.

Das Verfahren reagiert auf die Zustellung des Glättwerkzeuges in Richtung der gefrästen Profilfläche sehr sensibel. Einerseits werden davon die auftretenden Kräfte bestimmt, andererseits wird die geglättete Oberfläche bei zu hohen Kräften „grieslig“ (siehe Abschnitt 5.2.4). Für eine praktische Anwendung ist zu erwägen, ob die erforderlichen Prozeßkräfte durch eine Druckregelung aufzubringen sind.

Die Endqualität der lackierten Breitflächen fiel gegenüber den Profilflächen deutlich ab. Es empfiehlt sich daher, die Rauheiten der werksseitig geschliffenen MDF-Platten durch einen feinkörnigen Feinschliff zu verbessern oder vor der Bearbeitung mit einer Grundierfolie zu versehen.

7 Literaturnachweis

- [Aehlig96] Aehlig, C. Beurteilung des Emissionsverhaltens von Schnittholz-
Broege, M. trocknern durch Emissionsmessungen, olfaktometrische
Scheithauer, M. Geruchsbestimmungen, labortechnische Untersuchungen
zur Feststellung flüchtiger Holzinhaltsstoffe aus definierten Holzproben
Abschlußbericht AiF 9832B, Institut für Holztechnologie
Dresden 1996
- [Broege99] Broege, M.: Gasförmige Emissionen beim Glätten
Teilbericht 140490, Institut für Holztechnologie Dresden
1999
- [Brückner93] Brückner, R.: Untersuchungen zum Einflußverhalten der Bearbeitungs-
parameter auf die Qualität reibgeglätteter MDF-Oberflä-
chen
Ingenieurarbeit 1993, Berufsakademie Sachsen
- [Brückner94] Brückner, R.: Untersuchung zum Einsatz starrer, elektrisch beheizter
Werkzeuge zum Glätten von Profilen in Mitteldichten
Faserplatten
Diplomarbeit 1994, TU Dresden
- [Emmler99]: Emmler, R.: Wechselklimaverhalten lackierter Frontelemente
Interner Prüfbericht 140490, Institut für Holztechnologie
Dresden 1999
- [Fischer94] Fischer, R.: Praxisgerechte Oberflächenbewertung als Beitrag für die
Qualitätssicherung
Vulkan-Verlag Essen, 1994
- [Fuchs95] Fuchs, I. Verfahren zur Stabilisierung der Temperatur von rotieren-
Sandig, C. den Werkzeugen zum Glätten von Holz und Holzwerkstof-
Urban, F.: fen
DE 195 18 365 A1
- [Fuchs98] Fuchs, I. Glätten von gefrästen Profilen in MDF und Holz
Sandig, C. 3. Internationales Sysmposium 3D (Wemhöner Sympo-
sium), 18. - 20.5.1998
- [Proschwitz98] Proschwitz, J.: Entwurf und Parametrierung einer Temperaturregelung für
elektrisch beheizte Glättwerkzeuge zur Holzwerkstoffbe-
arbeitung
Diplomarbeit 1998, HTW Dresden
- [Raatz93] Raatz, Ch.: Untersuchungen zur Abhängigkeit der Güte profilierter
und geglätteter MDF-Oberflächen vom Werkzeuggrundlauf
Diplomarbeit 1993, TU Chemnitz
- [Raatz94] Raatz, Ch.: Auftretende statische und dynamische Belastungen beim
Reibglätten und deren Auswirkungen auf die Bearbei-
tungsmaschine
Vortrag und Manuskript zum Workshop „Reibglätten“ im
Institut für Holztechnologie Dresden am 25.10.1994

- [Raatz98] Raatz, Ch.: Glätten und Verdichten von Holz und Holzwerkstoffen durch Anwendung von Ultraschall (Ultraschallglätten I) Abschlußbericht GEWIPLAN 283/97, Institut für Holztechnologie Dresden 1998
- [Raatz99-1] Raatz, Ch.: Smoothing of wood and wood-based material Vortrag und Proceedings auf dem 14. International Wood Machining Seminar, 12.-19.9.1999, Epinal, Frankreich
- [Raatz99-2] Raatz, Ch.: Smoothing of wood and wood-based material Vortrag und Proceedings auf dem 1. International Furniture Congress and Exhibition, 14.-17.10.1999, Istanbul, Türkei
- [Sander90] Sander, D.
Scholz, K.
Dunke, M.: Verfahren zum Bearbeiten mit Verzierungen versehener Möbelteile
DD 292 412 A5
- [Sandig93] Sandig, C.: Untersuchung des Einsatzes von speziellen Werkzeugen zum Glätten von profilierten Einfräsungen an Möbelfrontflächen zur Qualitätsverbesserung und Erhöhung der Produktivität
Abschlußbericht AiF 360D, Institut für Holztechnologie Dresden 1993
- [Sandig95] Sandig, C.: Entwicklung von Glättwerkzeugen und deren Einsatzbedingungen zur Verbesserung der Oberflächenqualität von gefrästen Profilen in MDF-Platten
Abschlußbericht AiF 9440B, Institut für Holztechnologie Dresden 1995
- [Sandig97] Sandig, C.: Entwicklung eines Verfahrens zum kontinuierlichen Glätten leistenartiger Bauteile aus Vollholz und/oder Holzwerkstoffen Teil I + II
Abschlußbericht Institut für Holztechnologie Dresden 1997
- [Sandig98] Sandig, C.
Fuchs, I.: Neue Methoden zum Glätten von Profilen
Dresdner Möbeltage, 6. - 8.5.1998
- [Sell87] Sell, J.: Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten
Baufachverlag Zürich, 1987
- [Urban94] Urban, F.: Entwicklung einer Regelung zur Stabilisierung der Werkzeugtemperatur beim Reibglätten
Diplomarbeit 1994, HTW Dresden
- [Wendt98] Wendt
Verfahren zur finalen Oberflächenbearbeitung von rauen Span- oder Faserplatten, Kunststoffplatten oder ähnlichen Bauteilen und Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens
DE 198 10 148

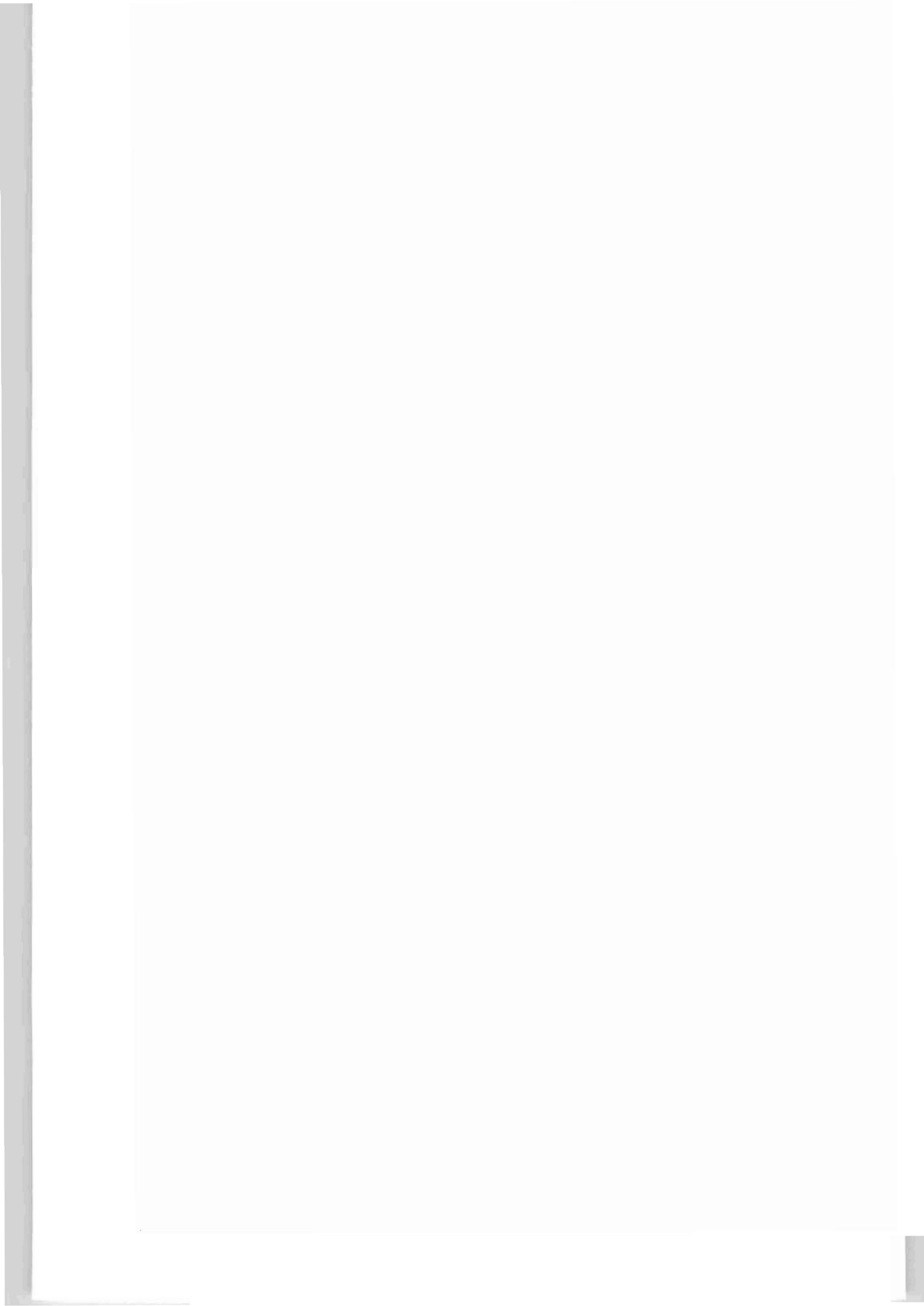
8 Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 Versuchsp Parameter und Meßwerte für die rechtwinklige Schmalfläche
 - Anlage 1.1 Versuchsbedingungen für die rechtwinklige Schmalfläche
 - Anlage 1.2 Versuchsplan für Fixglätten (zylindrisches Werkzeug)
 - Anlage 1.3 Ergebnisse der Rauheitsmessungen (rechtwinklige Schmalfläche)
 - Anlage 1.4 Abhängigkeiten der Versuchsparameter der rechtwinkligen Schmalfläche (Diagramme)
 - Anlage 1.5 Korrelationen für die Parameter der rechtwinkligen Schmalfläche
 - Anlage 1.6 Einfluß der Prozeßparameter beim Fixglätten (4D-Plot)

- Anlage 2 Versuchsp Parameter und Meßwerte für das Kehlprofil
 - Anlage 2.1 Versuchsbedingungen für das Kehlprofil
 - Anlage 2.2 Versuchsplan für Fixglätten (Kehlprofil)
 - Anlage 2.3 Ergebnisse der Rauheitsmessungen (Kehlprofil)
 - Anlage 2.4 Abhängigkeiten der Versuchsparameter für das Kehlprofil (Diagramme)
 - Anlage 2.5 Korrelationen für die Parameter des Kehlprofils

- Anlage 3 Lackierversuche an geglätteten MDF-Platten

- Anlage 4 Rohdichtep Profile ausgewählter MDF-Plattentypen (H, T, HL, M)



Anlage 1.1: Versuchsbedingungen für die rechtwinklige Schmalfläche

Versuchsmaschine:	BIMA 100
Werkstückabmessungen [mm]:	514 x ca. 400 x 16
Material:	MDF
Werkstückspannung:	mittels Vakuum auf Kraftmesstisch

Parameter	Fräsen	Fix-Glätten
Werkzeug:	Schaftfräser	Werkzeug 1
Werkzeugradius (mm):	10	10
Drehzahl (1/min):	18000	0
Schneidenanzahl:	1	0
Vorschubgeschwindigkeit (m/min) in x-Richtung	5	1; 2; 3; 5; 7; 9; 12
Vorschubrichtung:	Gegenlauf	wie beim Fräsen (Glätten in Schnittrichtung)
Vorschubweg (mm):	514	514
Zustellung in y-Richtung (mm):	1	0,2; 0,4; 0,6
Temperatur (°C):		300; 350; 400

Kraftmessung

<i>Ladungsverstärker</i>	Kistler, Typ 5019A
Skalierung:	
Tiefpaßfilter:	30 Hz
Zeitkonstante:	Long

<i>Messrechner</i>	DOLCH PAC 586
Datenerfassung:	Kraftmessung.VI
Kommunikation mit Ladungsverstärker:	Gerätesteuerung Ladungsverstärker.VI
Auswertung:	Analyse_Signale_Kraftmeßtisch.VI

Probenaufbereitung

Längsschnitt der Proben
 markierte Proben-Nr. für Rauheitsmessung vorbereitet (**fett** markiert im Protokoll)
 Rauheitsmessung an ausgewählten Proben (Mittelwert aus drei Messungen)

Anlage 1.2: Versuchsplan für Fixglätten (zylindrisches Werkzeug)

Proben Nr.	Vorschubgeschw. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Dateiname	Kraft x [N]	Kraft y [N]	y Max [N]	Reibwert
1	1	300	0,2	FIX_Z001.TXT	39,30	133,93	145,31	0,293
2	1	300	0,2	FIX_Z002.TXT	38,97	136,00	145,65	0,287
3	1	300	0,2	FIX_Z003.TXT	38,35	135,17	147,75	0,284
4	1	300	0,2	FIX_Z004.TXT	38,11	134,81	146,19	0,283
5	2	300	0,2	FIX_Z005.TXT	38,81	141,35	154,35	0,275
6	2	300	0,2	FIX_Z006.TXT	35,70	142,00	153,52	0,251
7	2	300	0,2	FIX_Z007.TXT	37,45	142,42	153,47	0,263
8	2	300	0,2	FIX_Z008.TXT	35,49	142,50	154,44	0,249
9	3	300	0,2	FIX_Z009.TXT	36,00	145,07	155,71	0,248
10	3	300	0,2	FIX_Z010.TXT	35,08	145,51	156,74	0,241
11	3	300	0,2	FIX_Z011.TXT	35,40	144,75	156,89	0,245
12	3	300	0,2	FIX_Z012.TXT	35,28	145,55	155,66	0,242
13	5	300	0,2	FIX_Z013.TXT	34,17	146,11	156,69	0,234
14	5	300	0,2	FIX_Z014.TXT	32,28	146,55	156,74	0,220
15	5	300	0,2	FIX_Z015.TXT	32,34	145,44	156,74	0,222
16	5	300	0,2	FIX_Z016.TXT	32,11	145,45	157,57	0,221
17	7	300	0,2	FIX_Z017.TXT	31,05	147,17	160,84	0,211
18	7	300	0,2	FIX_Z018.TXT	27,97	146,86	157,76	0,190
19	7	300	0,2	FIX_Z019.TXT	28,70	145,77	158,74	0,197
20	7	300	0,2	FIX_Z020.TXT	28,52	145,12	156,88	0,197
21	9	300	0,2	FIX_Z021.TXT	29,11	147,44	161,52	0,197
22	9	300	0,2	FIX_Z022.TXT	27,36	148,07	160,35	0,185
23	9	300	0,2	FIX_Z023.TXT	26,56	146,69	161,38	0,181
24	9	300	0,2	FIX_Z024.TXT	26,19	148,09	157,76	0,177
25	12	300	0,2	FIX_Z025.TXT	27,92	147,40	158,84	0,189
26	12	300	0,2	FIX_Z026.TXT	25,46	147,67	160,64	0,172
27	12	300	0,2	FIX_Z027.TXT	26,19	150,09	163,96	0,175
28	12	300	0,2	FIX_Z028.TXT	24,24	149,66	163,18	0,162
29	1	300	0,4	FIX_Z029.TXT	65,53	268,64	288,43	0,244
30	1	300	0,4	FIX_Z030.TXT	70,54	271,73	294,78	0,260
31	1	300	0,4	FIX_Z031.TXT	72,70	271,22	288,72	0,268
32	1	300	0,4	FIX_Z032.TXT	72,68	270,27	290,48	0,269
33	2	300	0,4	FIX_Z033.TXT	77,21	287,10	308,64	0,269
34	2	300	0,4	FIX_Z034.TXT	71,31	286,82	311,47	0,249
35	2	300	0,4	FIX_Z035.TXT	75,39	286,12	306,69	0,263
36	2	300	0,4	FIX_Z036.TXT	72,94	284,68	308,84	0,256
37	3	300	0,4	FIX_Z037.TXT	70,14	297,86	320,90	0,235
38	3	300	0,4	FIX_Z038.TXT	65,97	296,62	317,48	0,222
39	3	300	0,4	FIX_Z039.TXT	65,92	295,49	315,33	0,223
40	3	300	0,4	FIX_Z040.TXT	65,73	300,33	324,41	0,219
41	5	300	0,4	FIX_Z041.TXT	62,93	305,45	324,46	0,206
42	5	300	0,4	FIX_Z042.TXT	57,78	304,60	322,27	0,190
43	5	300	0,4	FIX_Z043.TXT	59,18	305,12	328,52	0,194
44	5	300	0,4	FIX_Z044.TXT	56,37	304,86	324,46	0,185
45	7	300	0,4	FIX_Z045.TXT	57,48	309,28	331,01	0,186
46	7	300	0,4	FIX_Z046.TXT	55,62	311,50	333,25	0,179
47	7	300	0,4	FIX_Z047.TXT	56,39	312,59	333,15	0,180
48	7	300	0,4	FIX_Z048.TXT	53,62	310,20	331,40	0,173
49	9	300	0,4	FIX_Z049.TXT	54,23	311,84	330,96	0,174
50	9	300	0,4	FIX_Z050.TXT	50,28	310,99	332,52	0,162
51	9	300	0,4	FIX_Z051.TXT	49,31	292,04	322,70	0,169
52	9	300	0,4	FIX_Z052.TXT	50,65	296,11	324,80	0,171
53	12	300	0,4	FIX_Z053.TXT	48,43	301,58	327,73	0,161
54	12	300	0,4	FIX_Z054.TXT	47,08	300,82	330,47	0,156
55	12	300	0,4	FIX_Z055.TXT	45,24	296,34	325,59	0,153
56	12	300	0,4	FIX_Z056.TXT	47,57	294,96	324,51	0,161
57	1	300	0,6	FIX_Z057.TXT	91,02	397,25	448,00	0,229
58	1	300	0,6	FIX_Z058.TXT	102,25	393,03	445,17	0,260
59	1	300	0,6	FIX_Z059.TXT	118,83	407,08	446,92	0,292
60	1	300	0,6	FIX_Z060.TXT	106,93	404,97	449,41	0,264
61	2	300	0,6	FIX_Z061.TXT	112,56	398,54	451,03	0,282
62	2	300	0,6	FIX_Z062.TXT	99,38	394,09	460,16	0,252
63	2	300	0,6	FIX_Z063.TXT	99,72	460,99	497,90	0,216
64	2	300	0,6	FIX_Z064.TXT	106,08	458,87	497,71	0,231
65	3	300	0,6	FIX_Z065.TXT	119,55	454,20	506,35	0,263
66	3	300	0,6	FIX_Z066.TXT	103,85	458,33	500,83	0,227
67	3	300	0,6	FIX_Z067.TXT	106,10	466,44	503,27	0,227

Anlage 1.2: Versuchsplan für Fixglätten (zylindrisches Werkzeug)

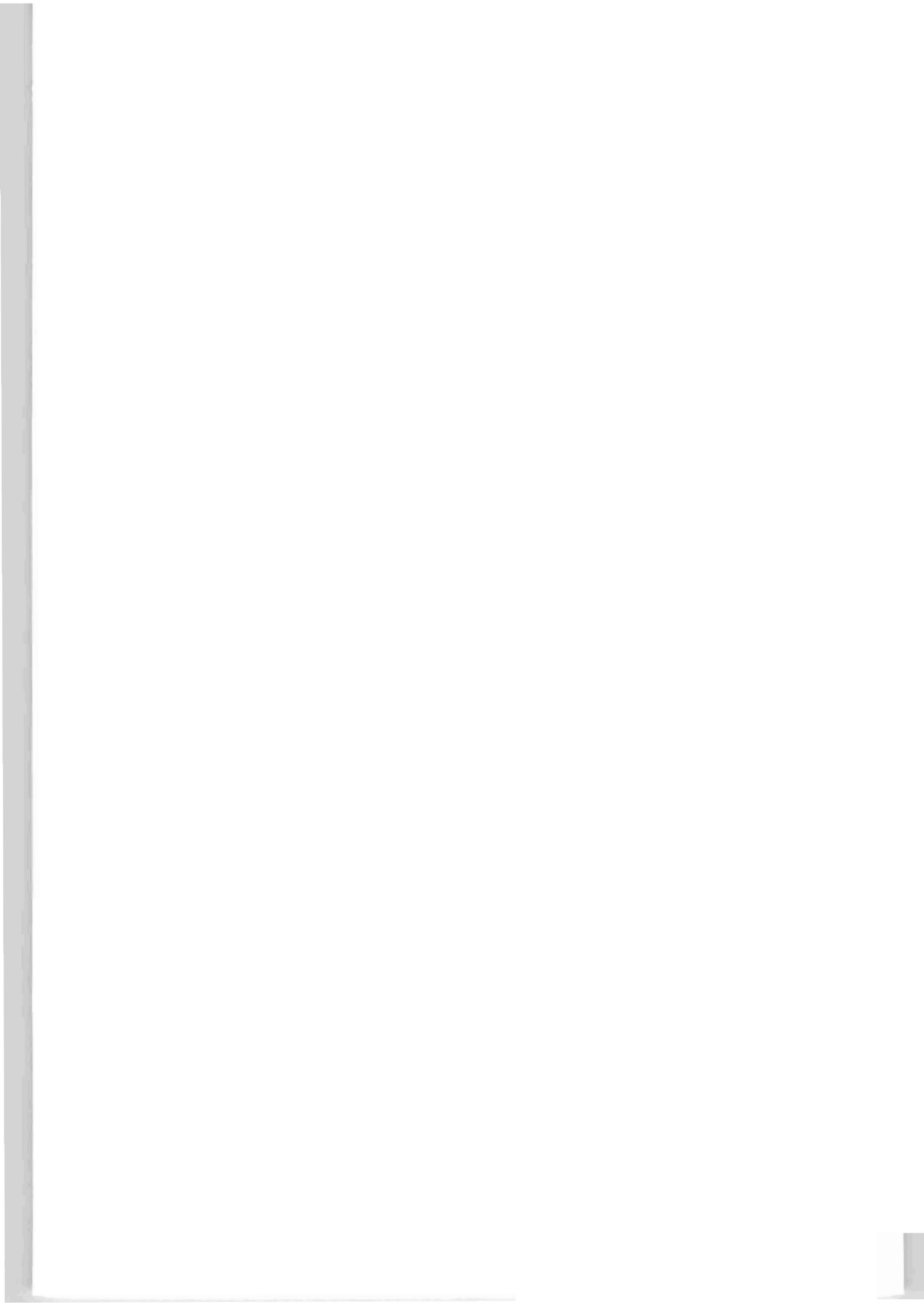
Proben Nr.	Vorschub-geschw. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Dateiname	Kraft x [N]	Kraft y [N]	y Max [N]	Reibwert
68	3	300	0,6	FIX_Z068.TXT	101,22	464,77	507,81	0,218
69	5	300	0,6	FIX_Z069.TXT	114,33	463,04	503,47	0,247
70	5	300	0,6	FIX_Z070.TXT	91,83	457,34	501,90	0,201
71	5	300	0,6	FIX_Z071.TXT	103,35	456,83	501,47	0,226
72	5	300	0,6	FIX_Z072.TXT	92,12	456,41	506,84	0,202
73	7	300	0,6	FIX_Z073.TXT	101,40	437,82	490,48	0,232
74	7	300	0,6	FIX_Z074.TXT	85,81	434,90	496,19	0,197
75	7	300	0,6	FIX_Z075.TXT	91,75	413,65	473,73	0,222
76	7	300	0,6	FIX_Z076.TXT	82,99	412,01	475,63	0,201
77	9	300	0,6	FIX_Z077.TXT	89,04	401,77	472,02	0,222
78	9	300	0,6	FIX_Z078.TXT	75,77	395,45	473,29	0,192
79	9	300	0,6	FIX_Z079.TXT	89,18	446,47	502,25	0,200
80	9	300	0,6	FIX_Z080.TXT	76,19	439,63	511,18	0,173
81	12	300	0,6	FIX_Z081.TXT	85,64	447,00	497,36	0,192
82	12	300	0,6	FIX_Z082.TXT	75,19	445,10	506,25	0,169
83	12	300	0,6	FIX_Z083.TXT	68,56	468,37	518,07	0,146
84	12	300	0,6	FIX_Z084.TXT	69,46	457,09	513,33	0,152
85	1	350	0,2	FIX_Z085.TXT	23,87	122,49	134,18	0,195
86	1	350	0,2	FIX_Z086.TXT	23,95	121,96	133,25	0,196
87	1	350	0,2	FIX_Z087.TXT	23,37	120,64	133,15	0,194
88	1	350	0,2	FIX_Z088.TXT	23,06	122,38	135,55	0,188
89	2	350	0,2	FIX_Z089.TXT	21,56	131,93	144,43	0,163
90	2	350	0,2	FIX_Z090.TXT	22,05	132,83	150,24	0,166
91	2	350	0,2	FIX_Z091.TXT	23,52	132,63	145,51	0,177
92	2	350	0,2	FIX_Z092.TXT	22,15	132,78	145,56	0,167
93	3	350	0,2	FIX_Z093.TXT	22,22	140,78	152,34	0,158
94	3	350	0,2	FIX_Z094.TXT	21,76	142,11	154,69	0,153
95	3	350	0,2	FIX_Z095.TXT	23,74	139,81	151,17	0,170
96	3	350	0,2	FIX_Z096.TXT	25,20	140,09	150,83	0,180
97	5	350	0,2	FIX_Z097.TXT	23,69	147,82	159,81	0,160
98	5	350	0,2	FIX_Z098.TXT	24,83	147,94	158,94	0,168
99	5	350	0,2	FIX_Z099.TXT	26,50	147,01	159,33	0,180
100	5	350	0,2	FIX_Z100.TXT	27,28	148,71	161,96	0,183
101	7	350	0,2	FIX_Z101.TXT	25,59	150,27	160,79	0,170
102	7	350	0,2	FIX_Z102.TXT	25,79	151,56	162,84	0,170
103	7	350	0,2	FIX_Z103.TXT	25,97	150,17	161,77	0,173
104	7	350	0,2	FIX_Z104.TXT	26,14	150,47	160,55	0,174
105	9	350	0,2	FIX_Z105.TXT	26,97	150,56	160,89	0,179
106	9	350	0,2	FIX_Z106.TXT	26,33	150,63	163,28	0,175
107	9	350	0,2	FIX_Z107.TXT	25,99	149,98	162,21	0,173
108	9	350	0,2	FIX_Z108.TXT	28,16	150,47	166,41	0,187
109	12	350	0,2	FIX_Z109.TXT	27,79	150,79	161,23	0,184
110	12	350	0,2	FIX_Z110.TXT	29,84	149,05	161,33	0,200
111	12	350	0,2	FIX_Z111.TXT	28,86	149,90	164,36	0,193
112	12	350	0,2	FIX_Z112.TXT	29,28	149,22	163,09	0,196
113	1	350	0,4	FIX_Z113.TXT	49,91	256,26	277,73	0,195
114	1	350	0,4	FIX_Z114.TXT	51,22	253,58	273,68	0,202
115	1	350	0,4	FIX_Z115.TXT	53,15	250,86	272,85	0,212
116	1	350	0,4	FIX_Z116.TXT	55,75	262,00	286,23	0,213
117	2	350	0,4	FIX_Z117.TXT	43,89	279,35	302,25	0,157
118	2	350	0,4	FIX_Z118.TXT	49,09	275,03	296,78	0,178
119	2	350	0,4	FIX_Z119.TXT	46,96	283,41	305,62	0,166
120	2	350	0,4	FIX_Z120.TXT	54,48	284,20	303,95	0,192
121	3	350	0,4	FIX_Z121.TXT	43,96	296,57	318,12	0,148
122	3	350	0,4	FIX_Z122.TXT	51,17	297,87	317,29	0,172
123	3	350	0,4	FIX_Z123.TXT	47,79	297,64	319,82	0,161
124	3	350	0,4	FIX_Z124.TXT	50,89	301,39	322,85	0,169
125	5	350	0,4	FIX_Z125.TXT	45,26	312,00	332,32	0,145
126	5	350	0,4	FIX_Z126.TXT	47,62	306,81	327,05	0,155
127	5	350	0,4	FIX_Z127.TXT	46,31	309,84	334,03	0,149
128	5	350	0,4	FIX_Z128.TXT	47,89	309,92	329,54	0,155
129	7	350	0,4	FIX_Z129.TXT	47,23	306,21	330,96	0,154
130	7	350	0,4	FIX_Z130.TXT	49,20	308,58	333,74	0,159
131	7	350	0,4	FIX_Z131.TXT	49,36	300,83	329,83	0,164
132	7	350	0,4	FIX_Z132.TXT	49,26	302,50	326,07	0,163
133	9	350	0,4	FIX_Z133.TXT	49,24	312,30	332,67	0,158
134	9	350	0,4	FIX_Z134.TXT	50,11	312,82	336,08	0,160

Anlage 1.2: Versuchsplan für Fixglätten (zylindrisches Werkzeug)

Proben Nr.	Vorschub-geschw. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Dateiname	Kraft x [N]	Kraft y [N]	y Max [N]	Reibwert
135	9	350	0,4	FIX_Z135.TXT	50,50	300,98	332,81	0,168
136	9	350	0,4	FIX_Z136.TXT	49,56	303,60	327,05	0,163
137	12	350	0,4	FIX_Z137.TXT	50,43	304,00	332,67	0,166
138	12	350	0,4	FIX_Z138.TXT	51,04	304,31	330,47	0,168
139	12	350	0,4	FIX_Z139.TXT	49,88	325,18	343,41	0,153
140	12	350	0,4	FIX_Z140.TXT	50,56	323,85	342,92	0,156
141	1	350	0,6	FIX_Z141.TXT	71,99	417,15	467,87	0,173
142	1	350	0,6	FIX_Z142.TXT	76,51	408,63	453,61	0,187
143	1	350	0,6	FIX_Z143.TXT	74,85	408,06	457,37	0,183
144	1	350	0,6	FIX_Z144.TXT	79,67	409,91	459,52	0,194
145	2	350	0,6	FIX_Z145.TXT	61,73	376,02	444,53	0,164
146	2	350	0,6	FIX_Z146.TXT	65,57	371,48	441,06	0,177
147	2	350	0,6	FIX_Z147.TXT	70,20	384,64	442,04	0,182
148	2	350	0,6	FIX_Z148.TXT	72,36	379,79	441,16	0,191
149	3	350	0,6	FIX_Z149.TXT	70,64	413,44	475,78	0,171
150	3	350	0,6	FIX_Z150.TXT	77,01	423,00	480,66	0,182
151	3	350	0,6	FIX_Z151.TXT	74,02	383,53	447,36	0,193
152	3	350	0,6	FIX_Z152.TXT	84,55	383,98	447,36	0,220
153	5	350	0,6	FIX_Z153.TXT	82,96	406,76	474,41	0,204
154	5	350	0,6	FIX_Z154.TXT	91,42	413,67	472,07	0,221
155	5	350	0,6	FIX_Z155.TXT	85,50	448,42	501,42	0,191
156	5	350	0,6	FIX_Z156.TXT	96,99	449,78	499,85	0,216
157	7	350	0,6	FIX_Z157.TXT	75,41	449,55	508,84	0,168
158	7	350	0,6	FIX_Z158.TXT	90,70	447,55	504,30	0,203
159	7	350	0,6	FIX_Z159.TXT	79,65	468,69	513,43	0,170
160	7	350	0,6	FIX_Z160.TXT	93,64	464,28	512,01	0,202
161	9	350	0,6	FIX_Z161.TXT	93,31	467,83	517,48	0,199
162	9	350	0,6	FIX_Z162.TXT	80,34	466,17	520,17	0,172
163	9	350	0,6	FIX_Z163.TXT	83,72	403,63	474,85	0,207
164	9	350	0,6	FIX_Z164.TXT	78,58	412,46	480,81	0,191
165	12	350	0,6	FIX_Z165.TXT	93,18	423,36	483,35	0,220
166	12	350	0,6	FIX_Z166.TXT	80,04	419,25	492,58	0,191
167	12	350	0,6	FIX_Z167.TXT	86,32	432,00	499,66	0,200
168	12	350	0,6	FIX_Z168.TXT	79,35	419,71	495,75	0,189
169	1	400	0,2	FIX_Z169.TXT	25,48	121,37	134,62	0,210
170	1	400	0,2	FIX_Z170.TXT	21,10	120,63	134,47	0,175
171	1	400	0,2	FIX_Z171.TXT	21,27	124,57	137,40	0,171
172	1	400	0,2	FIX_Z172.TXT	20,46	128,27	141,21	0,160
173	2	400	0,2	FIX_Z173.TXT	21,59	137,91	152,49	0,157
174	2	400	0,2	FIX_Z174.TXT	20,87	139,98	152,25	0,149
175	2	400	0,2	FIX_Z175.TXT	21,33	140,82	153,42	0,151
176	2	400	0,2	FIX_Z176.TXT	21,04	141,62	152,59	0,149
177	3	400	0,2	FIX_Z177.TXT	20,11	144,16	155,13	0,140
178	3	400	0,2	FIX_Z178.TXT	20,71	144,14	156,40	0,144
179	3	400	0,2	FIX_Z179.TXT	21,28	141,40	152,83	0,150
180	3	400	0,2	FIX_Z180.TXT	21,37	142,65	155,47	0,150
181	5	400	0,2	FIX_Z181.TXT	19,51	149,90	161,87	0,130
182	5	400	0,2	FIX_Z182.TXT	26,66	150,53	162,16	0,177
183	5	400	0,2	FIX_Z183.TXT	21,06	148,92	159,62	0,141
184	5	400	0,2	FIX_Z184.TXT	25,32	149,77	162,89	0,169
185	7	400	0,2	FIX_Z185.TXT	21,71	151,94	164,70	0,143
186	7	400	0,2	FIX_Z186.TXT	21,25	152,73	166,11	0,139
187	7	400	0,2	FIX_Z187.TXT	24,30	150,36	161,23	0,162
188	7	400	0,2	FIX_Z188.TXT	23,07	150,78	162,16	0,153
189	9	400	0,2	FIX_Z189.TXT	23,06	156,52	171,09	0,147
190	9	400	0,2	FIX_Z190.TXT	22,94	157,47	168,21	0,146
191	9	400	0,2	FIX_Z191.TXT	24,43	155,30	166,70	0,157
192	9	400	0,2	FIX_Z192.TXT	24,07	156,79	167,28	0,154
193	12	400	0,2	FIX_Z193.TXT	24,19	171,33	184,96	0,141
194	12	400	0,2	FIX_Z194.TXT	24,47	166,76	176,61	0,147
195	12	400	0,2	FIX_Z195.TXT	25,96	163,74	174,46	0,159
196	12	400	0,2	FIX_Z196.TXT	26,65	163,04	174,76	0,163
197	1	400	0,4	FIX_Z197.TXT	37,13	268,17	293,55	0,138
198	1	400	0,4	FIX_Z198.TXT	38,58	269,63	291,50	0,143
199	1	400	0,4	FIX_Z199.TXT	40,47	264,96	290,77	0,153
200	1	400	0,4	FIX_Z200.TXT	40,42	270,80	291,60	0,149
201	2	400	0,4	FIX_Z201.TXT	42,70	282,97	305,52	0,151

Anlage 1.2: Versuchsplan für Fixglätten (zylindrisches Werkzeug)

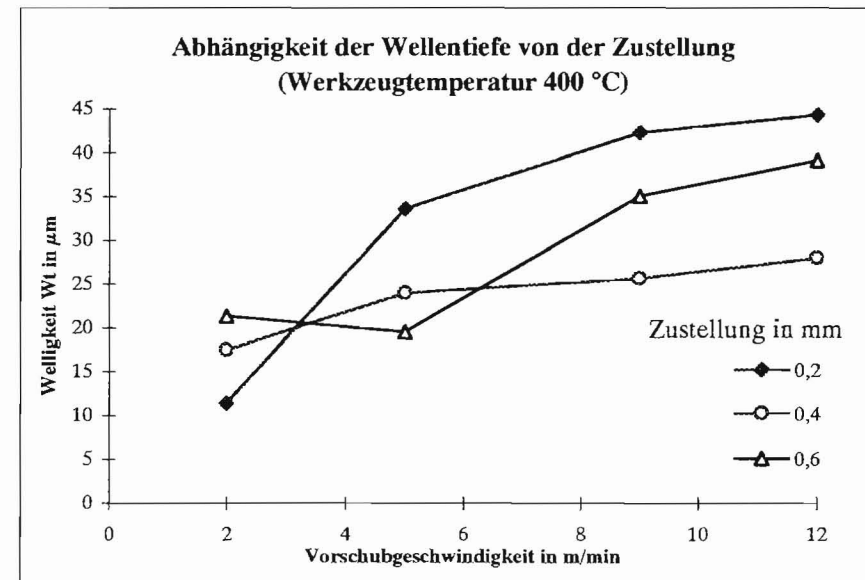
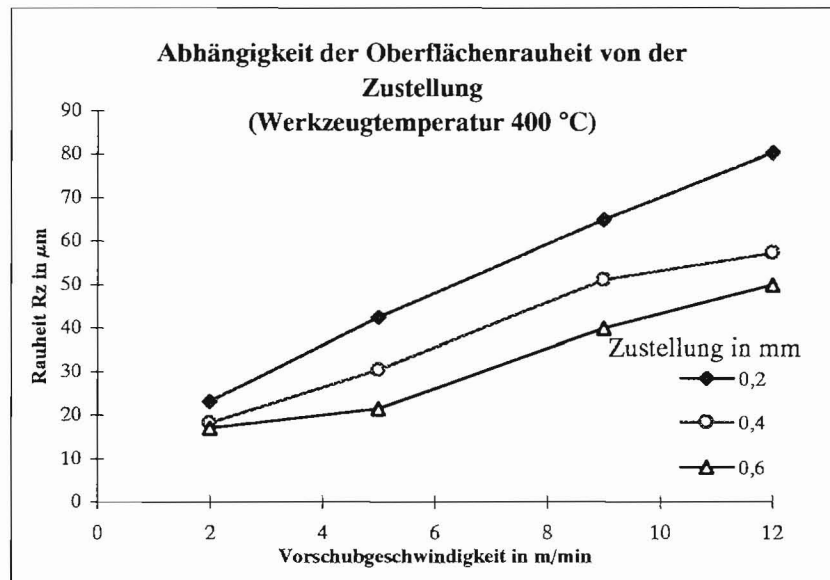
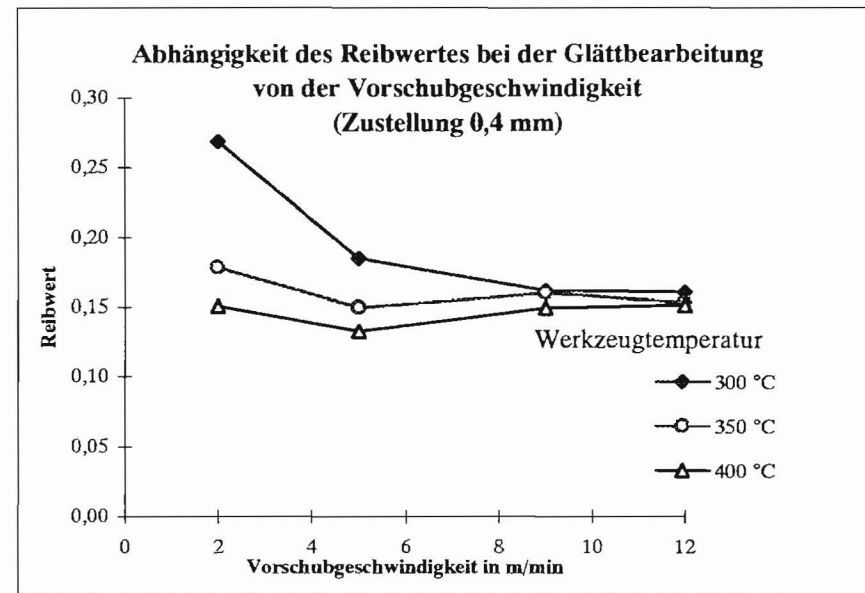
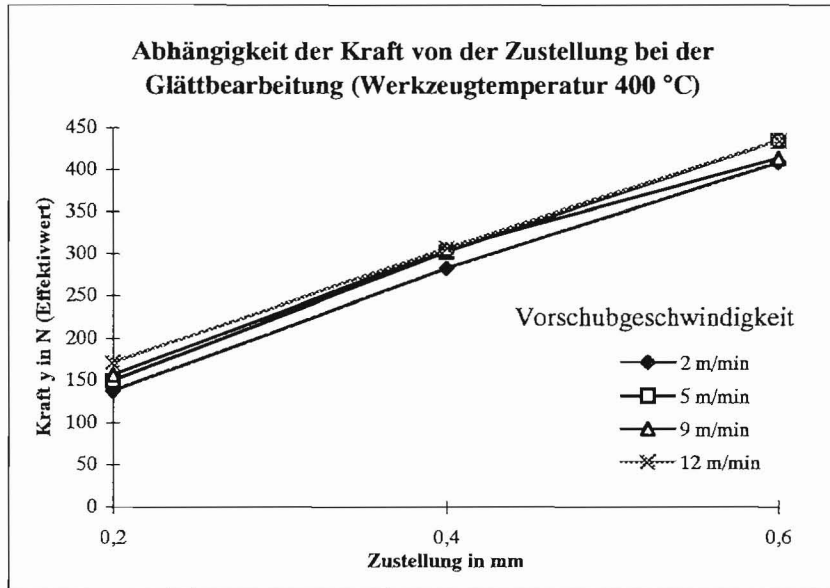
Proben Nr.	Vorschub-geschw. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Dateiname	Kraft x [N]	Kraft y [N]	y Max [N]	Reibwert
202	2	400	0,4	FIX_Z202.TXT	40,81	284,48	311,04	0,143
203	2	400	0,4	FIX_Z203.TXT	42,97	279,89	303,47	0,154
204	2	400	0,4	FIX_Z204.TXT	42,50	279,70	306,30	0,152
205	3	400	0,4	FIX_Z205.TXT	42,45	283,78	313,09	0,150
206	3	400	0,4	FIX_Z206.TXT	40,73	288,22	310,30	0,141
207	3	400	0,4	FIX_Z207.TXT	41,28	293,73	314,70	0,141
208	3	400	0,4	FIX_Z208.TXT	51,77	291,87	312,84	0,177
209	5	400	0,4	FIX_Z209.TXT	40,02	302,25	323,05	0,132
210	5	400	0,4	FIX_Z210.TXT	49,65	306,00	327,05	0,162
211	5	400	0,4	FIX_Z211.TXT	38,98	311,14	327,73	0,125
212	5	400	0,4	FIX_Z212.TXT	40,83	313,24	332,42	0,130
213	7	400	0,4	FIX_Z213.TXT	46,21	298,11	325,98	0,155
214	7	400	0,4	FIX_Z214.TXT	41,57	296,50	327,34	0,140
215	7	400	0,4	FIX_Z215.TXT	45,31	289,46	323,24	0,157
216	7	400	0,4	FIX_Z216.TXT	43,03	300,40	326,42	0,143
217	9	400	0,4	FIX_Z217.TXT	45,65	305,37	333,45	0,150
218	9	400	0,4	FIX_Z218.TXT	43,70	307,72	330,66	0,142
219	9	400	0,4	FIX_Z219.TXT	47,13	312,03	332,52	0,151
220	9	400	0,4	FIX_Z220.TXT	46,71	312,94	334,96	0,149
221	12	400	0,4	FIX_Z221.TXT	46,42	306,71	334,03	0,151
222	12	400	0,4	FIX_Z222.TXT	46,59	308,72	335,35	0,151
223	12	400	0,4	FIX_Z223.TXT	48,47	305,20	332,18	0,159
224	12	400	0,4	FIX_Z224.TXT	48,07	300,22	329,00	0,160
225	1	400	0,6	FIX_Z225.TXT	50,88	339,74	394,29	0,150
226	1	400	0,6	FIX_Z226.TXT	51,47	346,21	399,32	0,149
227	1	400	0,6	FIX_Z227.TXT	54,64	391,79	433,55	0,139
228	1	400	0,6	FIX_Z228.TXT	55,33	386,39	427,25	0,143
229	2	400	0,6	FIX_Z229.TXT	55,39	408,74	460,60	0,136
230	2	400	0,6	FIX_Z230.TXT	56,04	406,30	457,08	0,138
231	2	400	0,6	FIX_Z231.TXT	54,96	374,86	434,72	0,147
232	2	400	0,6	FIX_Z232.TXT	60,53	368,86	426,07	0,164
233	3	400	0,6	FIX_Z233.TXT	54,60	435,44	484,91	0,125
234	3	400	0,6	FIX_Z234.TXT	66,98	430,41	474,71	0,156
235	3	400	0,6	FIX_Z235.TXT	54,67	421,62	474,22	0,130
236	3	400	0,6	FIX_Z236.TXT	65,43	419,69	468,95	0,156
237	5	400	0,6	FIX_Z237.TXT	55,50	435,19	485,01	0,128
238	5	400	0,6	FIX_Z238.TXT	64,48	428,70	479,83	0,150
239	5	400	0,6	FIX_Z239.TXT	56,54	416,48	475,00	0,136
240	5	400	0,6	FIX_Z240.TXT	57,20	422,41	478,12	0,135
241	7	400	0,6	FIX_Z241.TXT	58,85	433,84	484,81	0,136
242	7	400	0,6	FIX_Z242.TXT	62,85	432,20	486,13	0,145
243	7	400	0,6	FIX_Z243.TXT	62,45	438,15	493,75	0,143
244	7	400	0,6	FIX_Z244.TXT	66,94	437,31	482,18	0,153
245	9	400	0,6	FIX_Z245.TXT	66,41	413,52	479,49	0,161
246	9	400	0,6	FIX_Z246.TXT	71,87	422,82	479,54	0,170
247	9	400	0,6	FIX_Z247.TXT	66,15	456,11	498,58	0,145
248	9	400	0,6	FIX_Z248.TXT	72,21	451,65	498,83	0,160
249	12	400	0,6	FIX_Z249.TXT	67,50	434,57	484,67	0,155
250	12	400	0,6	FIX_Z250.TXT	76,87	431,55	481,93	0,178
251	12	400	0,6	FIX_Z251.TXT	69,00	410,68	475,00	0,168
252	12	400	0,6	FIX_Z252.TXT	75,78	412,55	471,44	0,184



Anlage 1.3: Ergebnisse der Rauheitsmessungen (rechtwinklige Schmalfläche)

Proben Nr.	Vorschubgeschw. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Kraft x [N]	Kraft y [N]	Reibwert	y Max [N]	Rz [μm]	Wt [μm]
8	2	300	0,2	35,49	142,50	0,25	154,44	35,37	13,3
15	5	300	0,2	32,34	145,44	0,22	156,74	55,07	32,5
24	9	300	0,2	26,19	148,09	0,18	157,76	70,03	31,47
27	12	300	0,2	26,19	150,09	0,17	163,96	75,20	35,77
33	2	300	0,4	77,21	287,10	0,27	308,64	22,00	18,4
44	5	300	0,4	56,37	304,86	0,18	324,46	48,60	17,43
50	9	300	0,4	50,28	310,99	0,16	332,52	56,50	30,53
53	12	300	0,4	48,43	301,58	0,16	327,73	68,13	39,57
64	2	300	0,6	106,08	458,87	0,23	497,71	15,13	16,23
72	5	300	0,6	92,12	456,41	0,20	506,84	33,93	20,83
77	9	300	0,6	89,04	401,77	0,22	472,02	52,97	27,97
84	12	300	0,6	69,46	457,09	0,15	513,33	63,30	30,93
89	2	350	0,2	21,56	131,93	0,16	144,43	22,20	8,73
97	5	350	0,2	23,69	147,82	0,16	159,81	48,60	31,63
106	9	350	0,2	26,33	150,63	0,17	163,28	59,43	24,07
111	12	350	0,2	28,86	149,90	0,19	164,36	78,57	45,27
118	2	350	0,4	49,09	275,03	0,18	296,78	17,90	10,87
127	5	350	0,4	46,31	309,84	0,15	334,03	27,17	16,67
134	9	350	0,4	50,11	312,82	0,16	336,08	45,03	21,93
139	12	350	0,4	49,88	325,18	0,15	343,41	47,93	30,73
148	2	350	0,6	72,36	379,79	0,19	441,16	19,27	18,23
154	5	350	0,6	91,42	413,67	0,22	472,07	31,47	17,13
161	9	350	0,6	93,31	467,83	0,20	517,48	45,80	25,13
168	12	350	0,6	79,35	419,71	0,19	495,75	55,37	41,73
173	2	400	0,2	21,59	137,91	0,16	152,49	23,23	11,43
181	5	400	0,2	19,51	149,90	0,13	161,87	42,47	33,6
189	9	400	0,2	23,06	156,52	0,15	171,09	65,00	42,27
193	12	400	0,2	24,19	171,33	0,14	184,96	80,40	44,37
201	2	400	0,4	42,70	282,97	0,15	305,52	18,30	17,5
209	5	400	0,4	40,02	302,25	0,13	323,05	30,50	24,03
217	9	400	0,4	45,65	305,37	0,15	333,45	51,13	25,7
221	12	400	0,4	46,42	306,71	0,15	334,03	57,40	28,00
229	2	400	0,6	55,39	408,74	0,14	460,60	17,03	21,4
237	5	400	0,6	55,50	435,19	0,13	485,01	21,43	19,53
245	9	400	0,6	66,41	413,52	0,16	479,49	39,93	35,07
249	12	400	0,6	67,50	434,57	0,16	484,67	49,97	39,13

Anlage 1.4: Abhängigkeit der Zielgrößen von ausgewählten Einflußgrößen der rechtwinkligen Schmalfläche



Anlage 1.5: Korrelationen für die Parameter der rechtwinkligen Schmalfläche

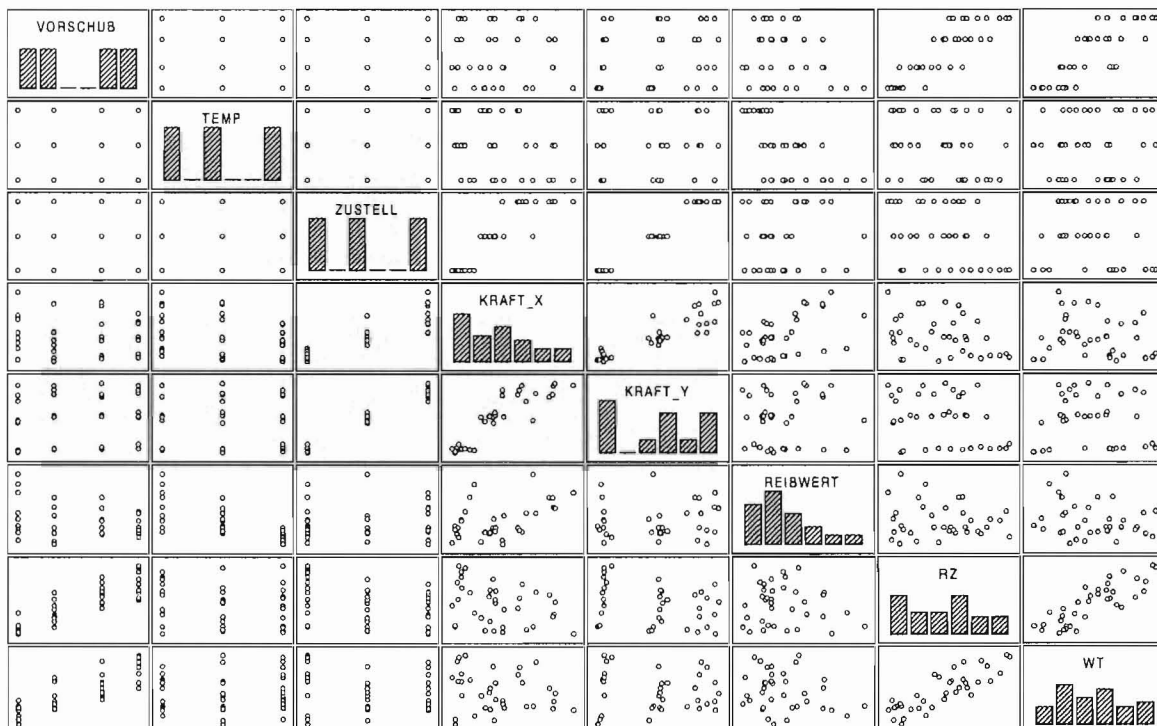
Korrelationen (zy_m_zg4.sta)

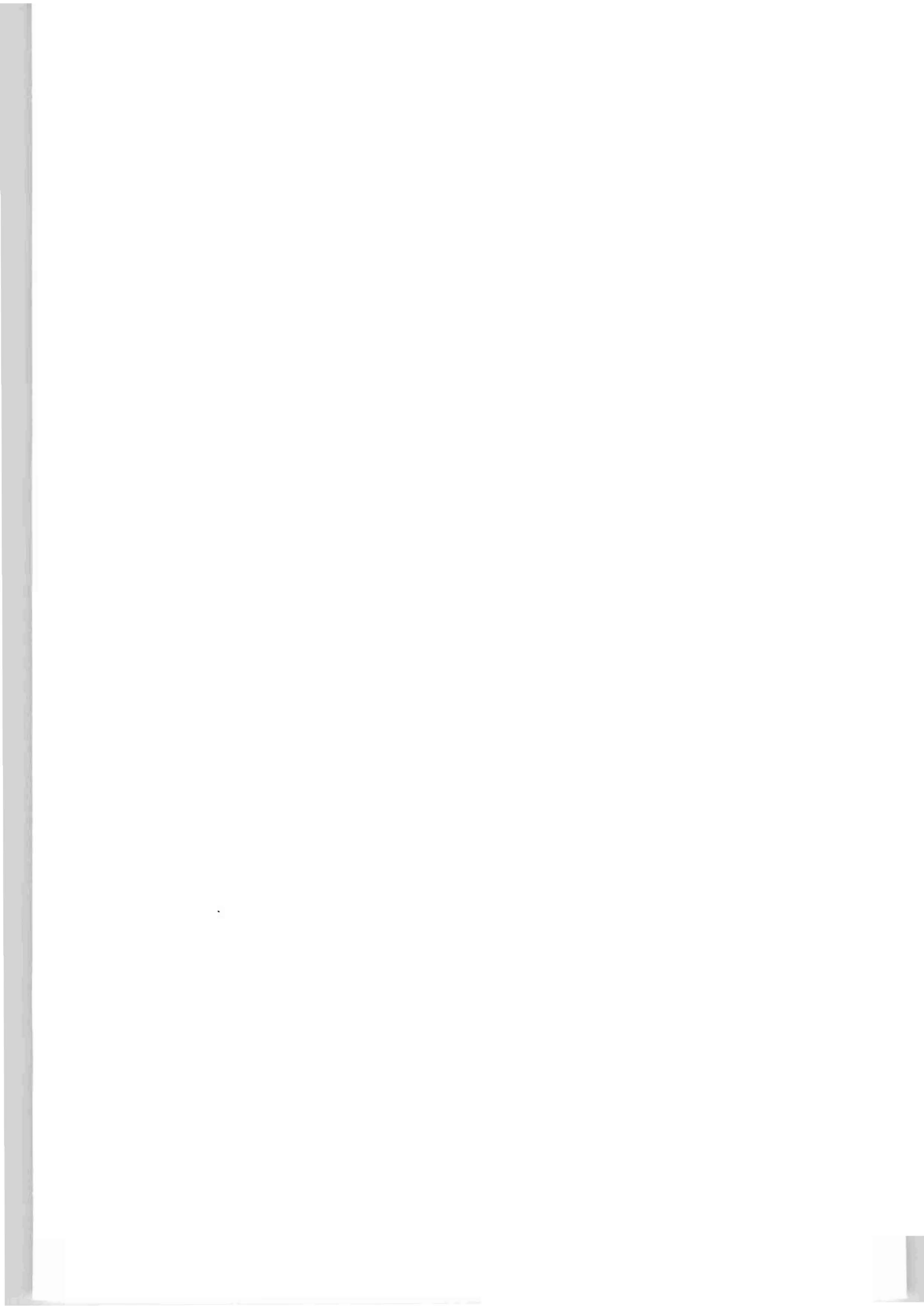
Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$

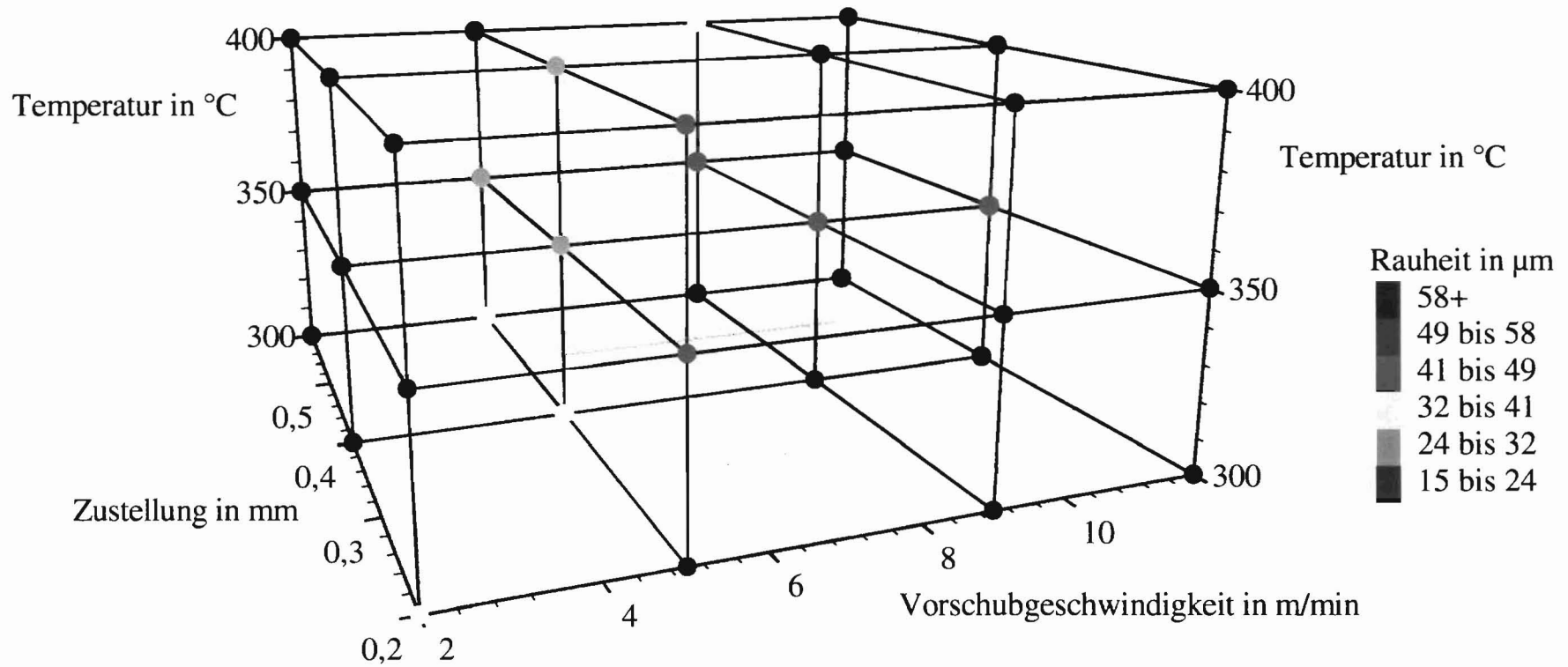
N=36 (Fallweiser Ausschluß von MD)

	VOR-SCHUB	TEMP	ZUSTELL	KRAFT_X	KRAFT_Y	REIB-WERT	R _z	W _T
VORSCHUB	1,00	-0,00	-0,00	-0,05	0,07	-0,27	0,87	0,81
TEMP	-0,00	1,00	0,00	-0,29	-0,02	-0,67	-0,16	0,09
ZUSTELL	-0,00	0,00	1,00	0,89	0,99	0,10	-0,38	-0,14
KRAFT_X	-0,05	-0,29	0,89	1,00	0,90	0,47	-0,33	-0,19
KRAFT_Y	0,07	-0,02	0,99	0,90	1,00	0,07	-0,32	-0,11
REIBWERT	-0,27	-0,67	0,10	0,47	0,07	1,00	-0,13	-0,24
R _z	0,87	-0,16	-0,38	-0,33	-0,32	-0,13	1,00	0,84
W _T	0,81	0,09	-0,14	-0,19	-0,11	-0,24	0,84	1,00

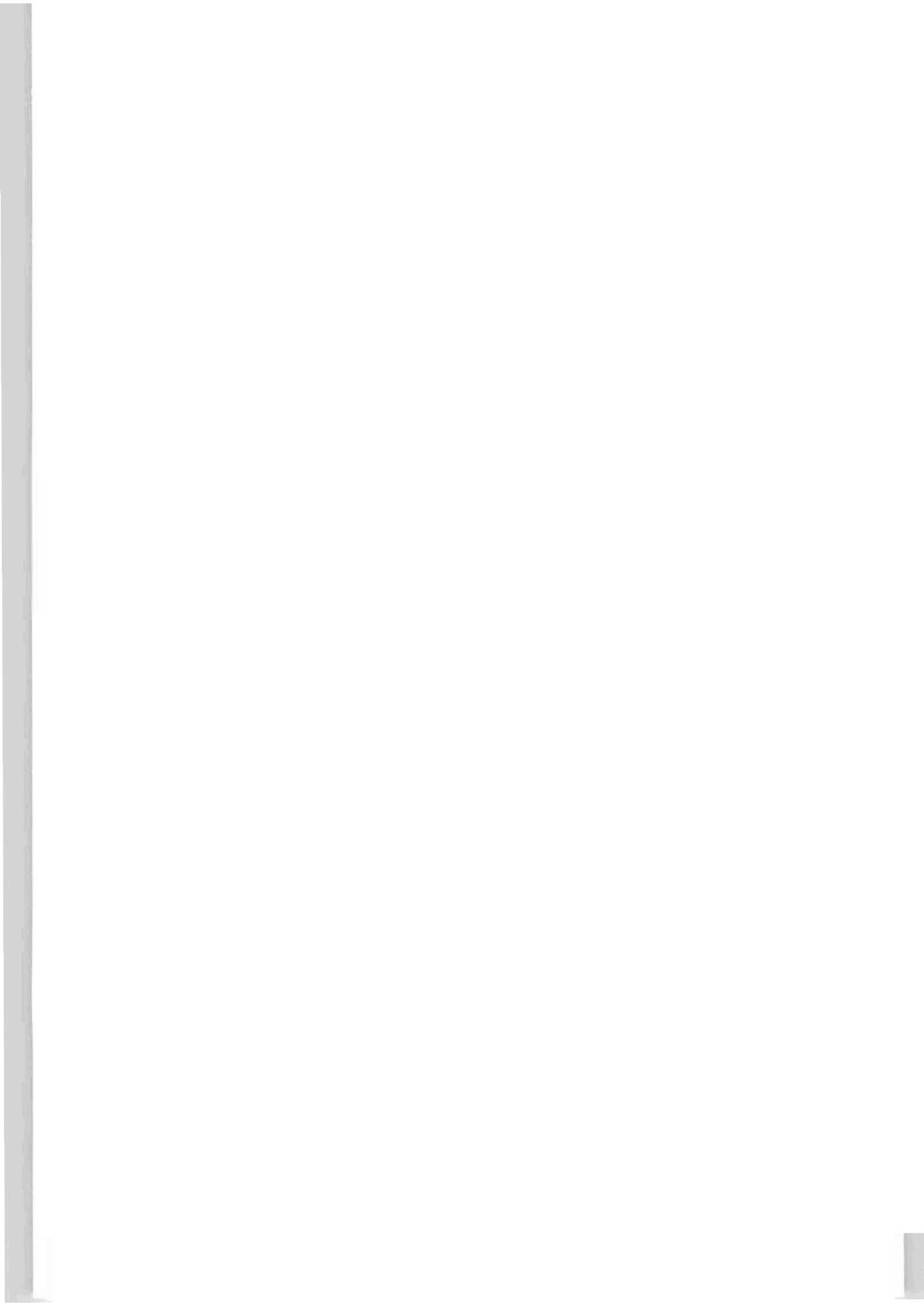
Matrixplot (ZY_M_ZG4.STA 8v*36c)







Anlage 1.6: Einfluß der Prozeßparameter auf die Oberflächenqualität beim Fixglätten (rechtwinklige Schmalfläche)



Anlage 2.1: Versuchsbedingungen für das Kehlprofil

Versuchsmaschine: BIMA 100
 Werkstückabmessungen [mm]: 514 x ca. 400 x 16
 Material: MDF
 Werkstückspannung: mittels Vakuum auf Kraftmesstisch

Parameter:	Fräsen	Fix-Glätten
Werkzeug:	Kehlfräser	Werkzeug 3
Werkzeugradius (mm):	20	10
Drehzahl (1/min)	18000	0
Schneidenanzahl:	2	0
Vorschubgeschwindigkeit (m/min) in x-Richtung	5	1; 2; 3; 5; 7; 9; 12
Vorschubrichtung:	Gleich-/Gegenlauf wie beim Fräsen	
Vorschubweg (mm):	514	514
Zustellung in z-Richtung (mm):	6	0,6; 0,8; 1,0
Temperatur (°C):		300; 350; 400

Kraftmessung

Ladungsverstärker Kistler, Typ 5019A
 Skalierung:
 Tiefpaßfilter: 30 Hz
 Zeitkonstante: Long

Messrechner DOLCH PAC 586
 Datenerfassung: Kraftmessung.VI
 Kommunikation mit Ladungsverstärker: Gerätesteuerung Ladungsverstärker.VI
 Auswertung: Analyse_Signale_Kraftmeßtisch.VI

Probenaufbereitung

Fräsen und Glätten von 3 Bahnen je Probeplatte
 Querschnitt der Probeplatten
 Längsschnitt für Rauheitsmessung
 Rauheitsmessung an ausgewählten Probekörpern (Mittelwert aus drei Messungen)

Anlage 2.2: Versuchsplan für Fixglätten (Kehlwerkzeug)

Proben Nr.	Vorschub geschw. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Dateiname	Kraft x [N]	Kraft z [N]	z Max [N]	Reibwert
1	1	300	0,6	FIX001.TXT	25	92	117	0,272
2	1	300	0,6	FIX002.TXT	28	98	113	0,286
3	1	300	0,6	FIX003.TXT	50	172	190	0,291
4	2	300	0,6	FIX004.TXT	39	157	186	0,248
5	2	300	0,6	FIX005.TXT	43	171	190	0,251
6	2	300	0,6	FIX006.TXT	38	147	163	0,259
7	2	300	0,6	FIX007.TXT	34	128	139	0,266
8	3	300	0,6	FIX008.TXT	51	247	279	0,206
9	3	300	0,6	FIX009.TXT	27	119	131	0,227
10	3	300	0,6	FIX010.TXT	26	109	121	0,239
11	5	300	0,6	FIX011.TXT	29	122	137	0,238
12	5	300	0,6	FIX012.TXT	27	120	149	0,225
13	5	300	0,6	FIX013.TXT	27	119	128	0,227
14	7	300	0,6	FIX014.TXT	34	160	182	0,213
15	7	300	0,6	FIX015.TXT	23	104	114	0,221
16	7	300	0,6	FIX016.TXT	25	106	115	0,236
17	9	300	0,6	FIX017.TXT	21	104	115	0,202
18	9	300	0,6	FIX018.TXT	20	95	106	0,211
19	9	300	0,6	FIX019.TXT	22	99	108	0,222
20	12	300	0,6	FIX020.TXT	27	156	183	0,173
21	12	300	0,6	FIX021.TXT	19	91	101	0,209
22	12	300	0,6	FIX022.TXT	23	104	112	0,221
23	1	300	0,8	FIX023.TXT	34	108	129	0,315
24	1	300	0,8	FIX024.TXT	48	241	302	0,199
25	1	300	0,8	FIX025.TXT	50	217	256	0,230
26	2	300	0,8	FIX026.TXT	49	238	280	0,206
27	2	300	0,8	FIX027.TXT	51	306	349	0,166
28	2	300	0,8	FIX028.TXT	51	287	314	0,178
29	3	300	0,8	FIX029.TXT	44	269	317	0,164
30	3	300	0,8	FIX030.TXT	57	311	349	0,183
31	3	300	0,8	FIX031.TXT	41	295	321	0,139
32	5	300	0,8	FIX032.TXT	51	269	303	0,190
33	5	300	0,8	FIX033.TXT	55	327	359	0,168
34	5	300	0,8	FIX034.TXT	48	311	334	0,154
35	7	300	0,8	FIX035.TXT	48	266	302	0,180
36	7	300	0,8	FIX036.TXT	55	320	350	0,171
37	7	300	0,8	FIX037.TXT	49	311	334	0,158
38	9	300	0,8	FIX038.TXT	54	289	327	0,187
39	9	300	0,8	FIX039.TXT	66	339	369	0,195
40	9	300	0,8	FIX040.TXT	62	323	355	0,192
41	12	300	0,8	FIX041.TXT	48	269	301	0,178
42	12	300	0,8	FIX042.TXT	16	216	242	0,074
43	12	300	0,8	FIX043.TXT	61	318	346	0,192
44	1	300	1	FIX044.TXT	99	618	716	0,160
45	1	300	1	FIX045.TXT	100	823	879	0,122
46	1	300	1	FIX046.TXT	293	842	902	0,348
47	2	300	1	FIX047.TXT	100	421	451	0,238
48	2	300	1	FIX048.TXT	160	687	768	0,233
49	2	300	1	FIX049.TXT	186	740	799	0,251
50	3	300	1	FIX050.TXT	100	490	566	0,204
51	3	300	1	FIX051.TXT	145	682	769	0,213
52	3	300	1	FIX052.TXT	165	722	811	0,229
53	5	300	1	FIX053.TXT	69	365	425	0,189
54	5	300	1	FIX054.TXT	106	555	680	0,191
55	5	300	1	FIX055.TXT	132	658	747	0,201
56	7	300	1	FIX056.TXT	74	415	499	0,178
57	7	300	1	FIX057.TXT	117	636	727	0,184
58	7	300	1	FIX058.TXT	134	694	751	0,193
59	9	300	1	FIX059.TXT	83	475	530	0,175
60	9	300	1	FIX060.TXT	121	652	741	0,186
61	9	300	1	FIX061.TXT	102	581	663	0,176
62	12	300	1	FIX062.TXT	76	478	529	0,159
63	12	300	1	FIX063.TXT	108	650	722	0,166
64	12	300	1	FIX064.TXT	115	670	742	0,172
65	1	350	0,6	FIX065.TXT	74	240	269	0,308
66	1	350	0,6	FIX066.TXT	110	339	370	0,324
67	1	350	0,6	FIX067.TXT	124	367	400	0,338

Anlage 2.2: Versuchsplan für Fixglätten (Kehlwerkzeug)

Proben Nr.	Vorschub geschw. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Dateiname	Kraft x [N]	Kraft z [N]	z Max [N]	Reibwert
68	2	350	0,6	FIX068.TXT	150	467	514	0,321
69	2	350	0,6	FIX069.TXT	158	481	522	0,328
70	2	350	0,6	FIX070.TXT	152	461	497	0,330
71	3	350	0,6	FIX071.TXT	116	359	392	0,323
72	3	350	0,6	FIX072.TXT	153	495	537	0,309
73	3	350	0,6	FIX073.TXT	159	507	558	0,314
74	5	350	0,6	FIX074.TXT	111	370	406	0,300
75	5	350	0,6	FIX075.TXT	147	512	564	0,287
76	5	350	0,6	FIX076.TXT	155	520	564	0,298
77	7	350	0,6	FIX077.TXT	99	367	407	0,270
78	7	350	0,6	FIX078.TXT	131	496	549	0,264
79	7	350	0,6	FIX079.TXT	145	521	564	0,278
80	9	350	0,6	FIX080.TXT	59	224	284	0,263
81	9	350	0,6	FIX081.TXT	88	326	470	0,270
82	9	350	0,6	FIX082.TXT	118	401	442	0,294
83	12	350	0,6	FIX083.TXT	92	368	474	0,250
84	12	350	0,6	FIX084.TXT	114	423	485	0,270
85	12	350	0,6	FIX085.TXT	142	485	532	0,293
86	1	350	0,8	FIX086.TXT	97	337	364	0,288
87	1	350	0,8	FIX087.TXT	162	543	646	0,298
88	1	350	0,8	FIX088.TXT	203	656	752	0,309
89	2	350	0,8	FIX089.TXT	135	393	434	0,344
90	2	350	0,8	FIX090.TXT	211	643	736	0,328
91	2	350	0,8	FIX091.TXT	246	747	836	0,329
92	3	350	0,8	FIX092.TXT	161	491	563	0,328
93	3	350	0,8	FIX093.TXT	232	747	857	0,311
94	3	350	0,8	FIX094.TXT	254	822	900	0,309
95	5	350	0,8	FIX095.TXT	184	567	654	0,325
96	5	350	0,8	FIX096.TXT	236	825	938	0,286
97	5	350	0,8	FIX097.TXT	261	886	966	0,295
98	7	350	0,8	FIX098.TXT	153	548	627	0,279
99	7	350	0,8	FIX099.TXT	230	818	925	0,281
100	7	350	0,8	FIX100.TXT	264	880	964	0,300
101	9	350	0,8	FIX101.TXT	163	571	646	0,285
102	9	350	0,8	FIX102.TXT	269	893	967	0,301
103	9	350	0,8	FIX103.TXT	261	882	937	0,296
104	12	350	0,8	FIX104.TXT	161	585	666	0,275
105	12	350	0,8	FIX105.TXT	224	812	903	0,276
106	12	350	0,8	FIX106.TXT	259	880	964	0,294
107	1	350	1	FIX107.TXT	171	692	773	0,247
108	1	350	1	FIX108.TXT	262	982	1061	0,267
109	1	350	1	FIX109.TXT	289	1024	1098	0,282
110	2	350	1	FIX110.TXT	233	750	853	0,311
111	2	350	1	FIX111.TXT	318	1066	1177	0,298
112	2	350	1	FIX112.TXT	341	1120	1205	0,304
113	3	350	1	FIX113.TXT	253	807	922	0,314
114	3	350	1	FIX114.TXT	331	1128	1244	0,293
115	3	350	1	FIX115.TXT	354	1184	1283	0,299
116	5	350	1	FIX116.TXT	237	763	840	0,311
117	5	350	1	FIX117.TXT	325	1130	1287	0,288
118	5	350	1	FIX118.TXT	336	1140	1301	0,295
119	7	350	1	FIX119.TXT	219	748	819	0,293
120	7	350	1	FIX120.TXT	329	1150	1293	0,286
121	7	350	1	FIX121.TXT	353	1190	1319	0,297
122	9	350	1	FIX122.TXT	213	744	822	0,286
123	9	350	1	FIX123.TXT	326	1143	1290	0,285
124	9	350	1	FIX124.TXT	358	1189	1330	0,301
125	12	350	1	FIX125.TXT	216	729	801	0,296
126	12	350	1	FIX126.TXT	339	1157	1327	0,293
127	12	350	1	FIX127.TXT	371	1219	1358	0,304
128	1	400	0,6	FIX128.TXT	74	321	357	0,231
129	1	400	0,6	FIX129.TXT	101	465	514	0,217
130	1	400	0,6	FIX130.TXT	107	482	527	0,222
131	2	400	0,6	FIX131.TXT	124	546	619	0,227
132	2	400	0,6	FIX132.TXT	134	568	624	0,236
133	2	400	0,6	FIX133.TXT	130	570	621	0,228
134	3	400	0,6	FIX134.TXT	99	399	429	0,248

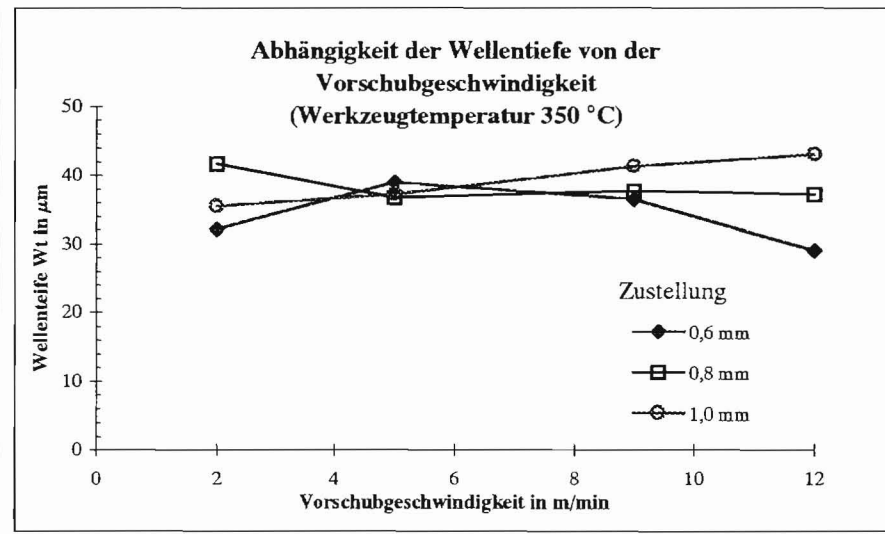
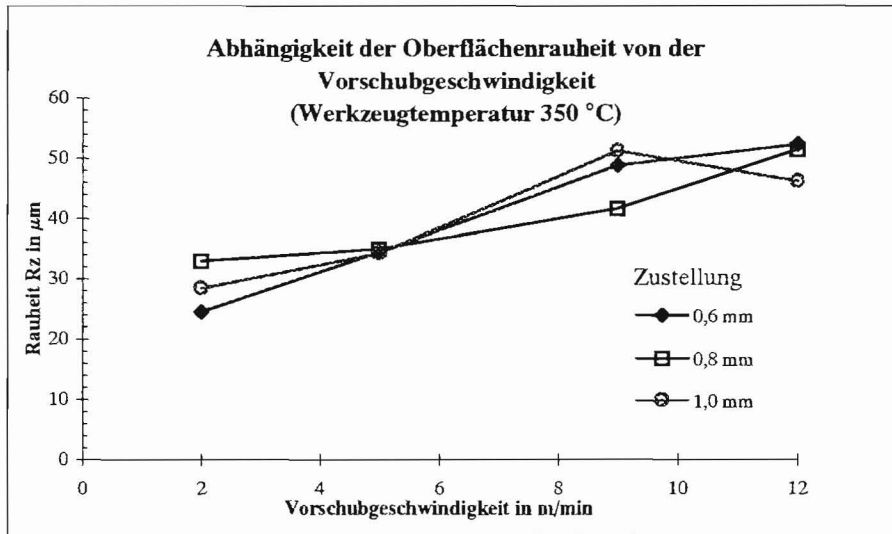
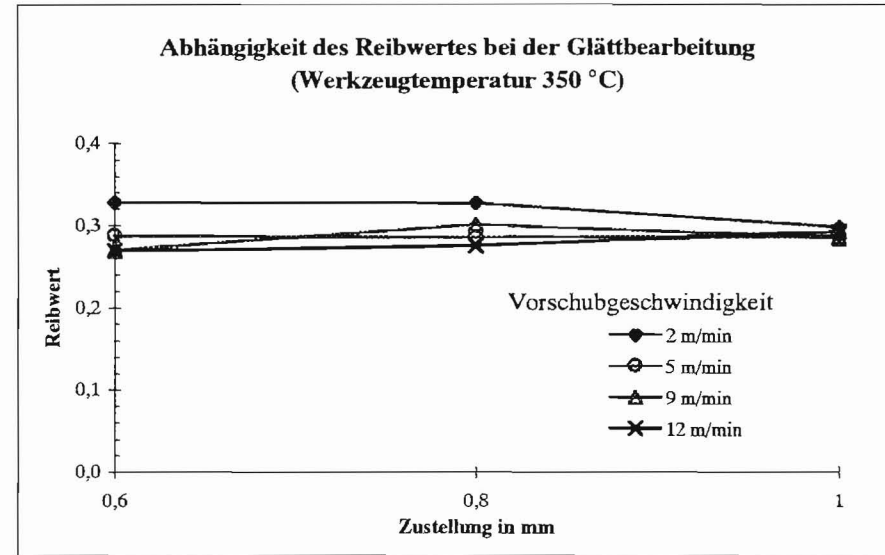
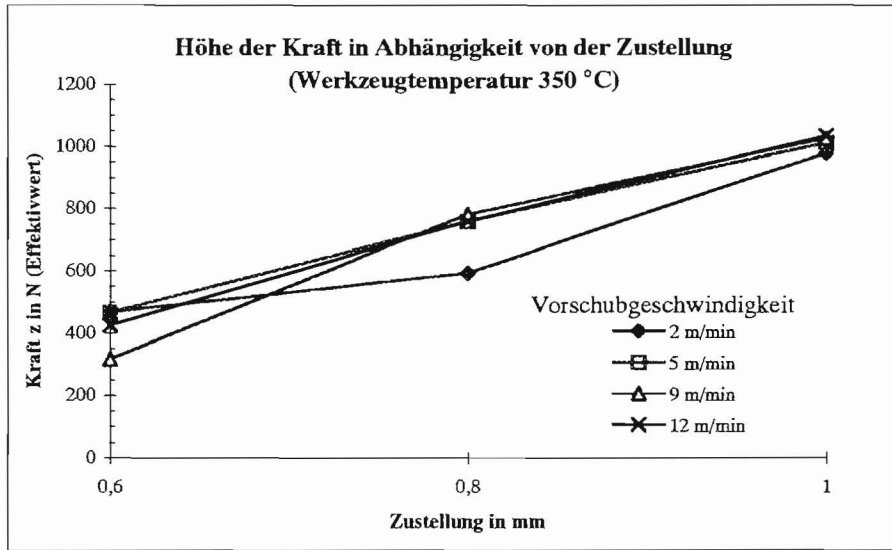
Anlage 2.2: Versuchsplan für Fixglätten (Kehlwerkzeug)

Proben Nr.	Vorschub geschw. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Dateiname	Kraft x [N]	Kraft z [N]	z Max [N]	Reibwert
135	3	400	0,6	FIX135.TXT	145	593	653	0,245
136	3	400	0,6	FIX136.TXT	154	601	661	0,256
137	5	400	0,6	FIX137.TXT	105	399	429	0,263
138	5	400	0,6	FIX138.TXT	160	624	688	0,256
139	5	400	0,6	FIX139.TXT	173	643	700	0,269
140	7	400	0,6	FIX140.TXT	106	387	414	0,274
141	7	400	0,6	FIX141.TXT	167	632	716	0,264
142	7	400	0,6	FIX142.TXT	185	669	743	0,277
143	9	400	0,6	FIX143.TXT	109	387	419	0,282
144	9	400	0,6	FIX144.TXT	173	640	729	0,270
145	9	400	0,6	FIX145.TXT	197	683	746	0,288
146	12	400	0,6	FIX146.TXT	108	388	416	0,278
147	12	400	0,6	FIX147.TXT	179	653	745	0,274
148	12	400	0,6	FIX148.TXT	202	702	772	0,288
149	1	400	0,8	FIX149.TXT	92	453	503	0,203
150	1	400	0,8	FIX150.TXT	136	743	855	0,183
151	1	400	0,8	FIX151.TXT	151	808	873	0,187
152	2	400	0,8	FIX152.TXT	108	514	553	0,210
153	2	400	0,8	FIX153.TXT	160	786	862	0,204
154	2	400	0,8	FIX154.TXT	175	821	914	0,213
155	3	400	0,8	FIX155.TXT	144	694	752	0,207
156	3	400	0,8	FIX156.TXT	200	953	1028	0,210
157	3	400	0,8	FIX157.TXT	211	989	1060	0,213
158	5	400	0,8	FIX158.TXT	167	721	789	0,232
159	5	400	0,8	FIX159.TXT	232	1013	1099	0,229
160	5	400	0,8	FIX160.TXT	252	1056	1135	0,239
161	7	400	0,8	FIX161.TXT	166	695	755	0,239
162	7	400	0,8	FIX162.TXT	247	1019	1125	0,242
163	7	400	0,8	FIX163.TXT	265	1061	1155	0,250
164	9	400	0,8	FIX164.TXT	180	699	757	0,258
165	9	400	0,8	FIX165.TXT	260	1042	1144	0,250
166	9	400	0,8	FIX166.TXT	285	1088	1176	0,262
167	12	400	0,8	FIX167.TXT	181	679	742	0,267
168	12	400	0,8	FIX168.TXT	280	1040	1159	0,269
169	12	400	0,8	FIX169.TXT	302	1094	1192	0,276
170	1	400	1	FIX170.TXT	112	744	806	0,151
171	1	400	1	FIX171.TXT	155	1062	1165	0,146
172	1	400	1	FIX172.TXT	166	1098	1207	0,151
173	2	400	1	FIX173.TXT	145	799	848	0,181
174	2	400	1	FIX174.TXT	199	1133	1265	0,176
175	2	400	1	FIX175.TXT	214	1144	1291	0,187
176	3	400	1	FIX176.TXT	164	786	841	0,209
177	3	400	1	FIX177.TXT	226	1160	1303	0,195
178	3	400	1	FIX178.TXT	243	1186	1325	0,205
179	5	400	1	FIX179.TXT	194	883	946	0,220
180	5	400	1	FIX180.TXT	262	1260	1398	0,208
181	5	400	1	FIX181.TXT	281	1286	1418	0,219
182	7	400	1	FIX182.TXT	293	1267	1414	0,231
183	7	400	1	FIX183.TXT	318	1297	1435	0,245
184	7	400	1	FIX184.TXT	318	1254	1391	0,254
185	9	400	1	FIX185.TXT	225	887	925	0,254
186	9	400	1	FIX186.TXT	306	1294	1438	0,236
187	9	400	1	FIX187.TXT	330	1327	1473	0,249
188	12	400	1	FIX188.TXT	222	861	896	0,258
189	12	400	1	FIX189.TXT	315	1305	1452	0,241
190	12	400	1	FIX190.TXT	344	1350	1500	0,255

Anlage 2.3: Ergebnisse der Rauheitsmessungen (Kehlprofil)

Proben Nr.	Vorschub-gesch. [m/min]	Temperatur [°C]	Zustellung [mm]	Kraft x [N]	Kraft_xquer [N]	Kraft z [N]	Kraft_zquer [N]	Reibwert	Rz [µm]	Rz (n=3) [µm]	Wt [µm]	Wt (n=3) [µm]
68	2	350	0,6	150		467		0,321	24,80		32,14	
69	2	350	0,6	158	153	481	470	0,328	22,95	24,54	32,81	32,13
70	2	350	0,6	152		461		0,330	25,86		31,45	
74	5	350	0,6	111		370		0,300	40,62		33,17	
75	5	350	0,6	147	138	512	467	0,287	32,30	34,42	54,45	39,04
76	5	350	0,6	155		520		0,298	30,34		29,50	
80	9	350	0,6	59		224		0,263	66,68		33,69	
81	9	350	0,6	88	88	326	317	0,270	41,45	48,87	45,86	36,51
82	9	350	0,6	118		401		0,294	38,49		29,99	
83	12	350	0,6	92		368		0,250	43,60		29,50	
84	12	350	0,6	114	116	423	425	0,270	59,90	52,37	28,10	29,03
85	12	350	0,6	142		485		0,293	53,60		29,50	
89	2	350	0,8	135		393		0,344	27,48		36,76	
90	2	350	0,8	211	197	643	594	0,328	34,07	32,94	56,58	41,75
91	2	350	0,8	246		747		0,329	37,28		31,91	
95	5	350	0,8	184		567		0,325	39,85		21,39	
96	5	350	0,8	236	227	825	759	0,286	32,67	34,97	36,91	36,82
97	5	350	0,8	261		886		0,295	32,40		52,16	
101	9	350	0,8	163		571		0,285	44,60		39,20	
102	9	350	0,8	269	231	893	782	0,301	44,20	41,70	32,50	37,70
103	9	350	0,8	261		882		0,296	36,30		41,40	
104	12	350	0,8	161		585		0,275	59,30		28,80	
105	12	350	0,8	224	215	812	759	0,276	40,00	51,57	23,30	37,20
106	12	350	0,8	259		880		0,294	55,40		59,50	
110	2	350	1	233		750		0,311	22,20		24,10	
111	2	350	1	318	297	1066	979	0,298	28,10	28,43	40,90	35,47
112	2	350	1	341		1120		0,304	35,00		41,40	
116	5	350	1	237		763		0,311	35,50		30,80	
117	5	350	1	325	299	1130	1011	0,288	32,70	34,27	50,50	37,27
118	5	350	1	336		1140		0,295	34,60		30,50	
122	9	350	1	213		744		0,286	55,90		48,50	
123	9	350	1	326	299	1143	1025	0,285	43,30	51,33	29,80	41,37
124	9	350	1	358		1189		0,301	54,80		45,80	
125	12	350	1	216		729		0,296	42,10		32,20	
126	12	350	1	339	309	1157	1035	0,293	44,20	46,20	56,30	43,07
127	12	350	1	371		1219		0,304	52,30		40,70	

Anlage 2.4: Abhängigkeit der Zielgrößen von ausgesuchten Einflußgrößen für das Kehlprofil (Werkzeug 3)



Anlage 2.5: Korrelationen für die Parameter des Kehlprofils

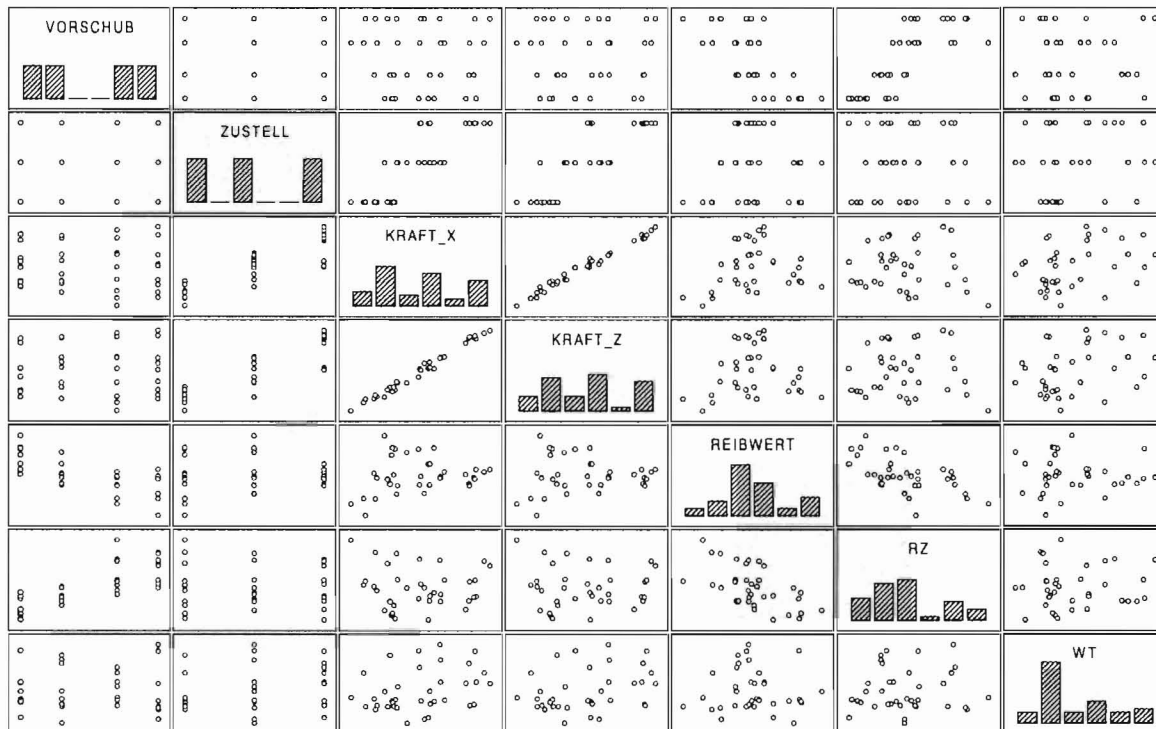
Korrelationen (ke_m_zg3.sta)

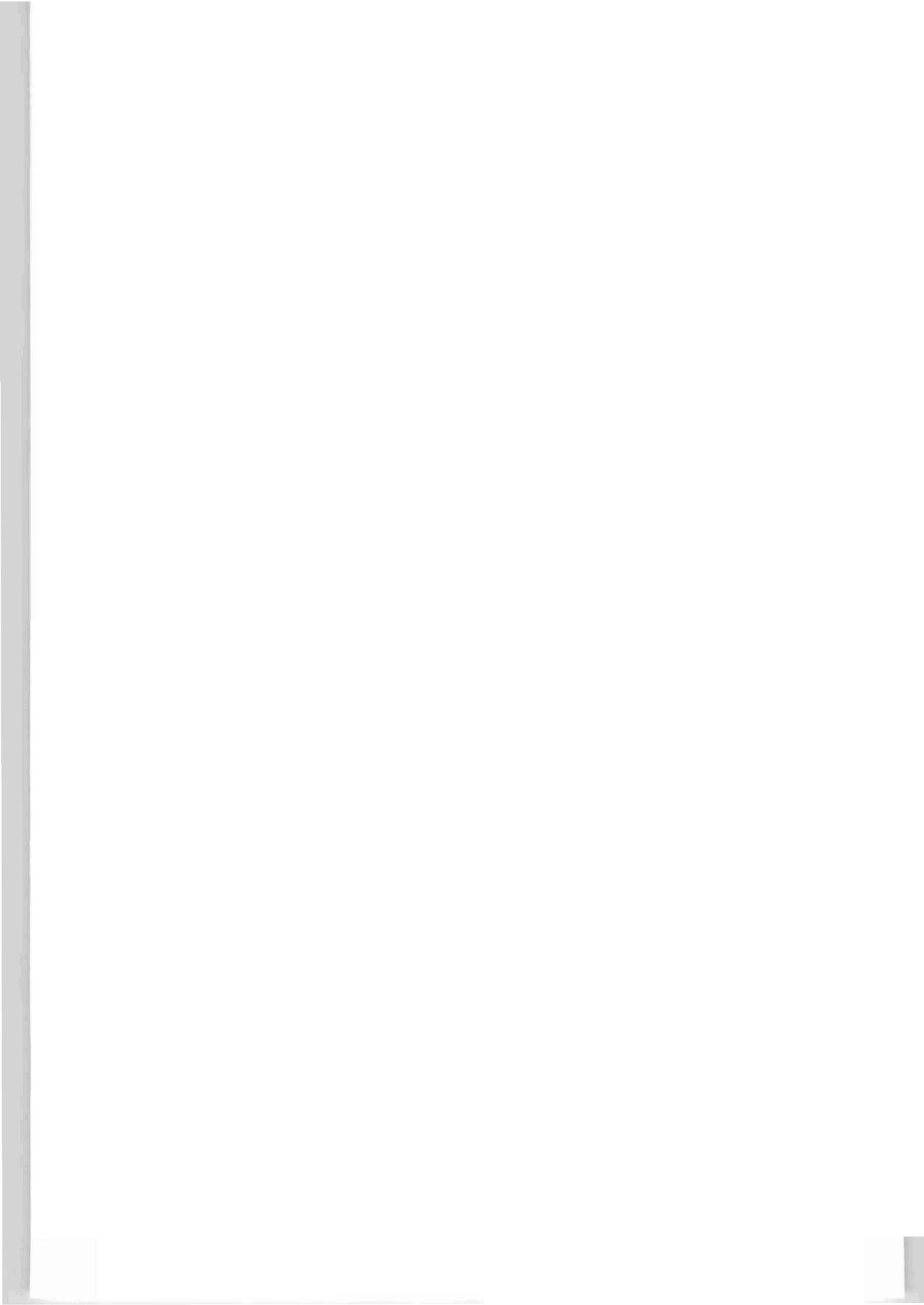
Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$

N=36 (Fallweiser Ausschluß von MD)

	VORSCHUB	ZUSTELL	KRAFT_X	KRAFT_Z	REIB- WERT	RZ	WT
VORSCHUB	1,00	-0,00	-0,03	0,05	-0,69	0,79	0,01
ZUSTELL	-0,00	1,00	0,85	0,85	0,12	0,00	0,21
KRAFT_X	-0,03	0,85	1,00	0,99	0,17	-0,08	0,32
KRAFT_Z	0,05	0,85	0,99	1,00	0,05	-0,02	0,33
REIBWERT	-0,69	0,12	0,17	0,05	1,00	-0,58	-0,02
RZ	0,79	0,00	-0,08	-0,02	-0,58	1,00	0,07
WT	0,01	0,21	0,32	0,33	-0,02	0,07	1,00

Matrixplot (KE_M_ZG3.STA 7v*36c)





Anlage 3: Lackerversuche an geglätteten MDF-Platten

Variante	Aqua	Menge	2K-PUR	Menge
Füller	Oli Finish Aqua Füller 15.88	ca. 200 g/m ²	Oli Finish 2K-PUR-Füller 40.30 mit Härter 11.1/HV	180 ... 200 g/m ²
Zwischenschliff	Körnung 320		Körnung 320	
Lackierung	Oli Finish Aqua Spritzlack 15.10-3 RAL 2002 (rot)	80 ... 110 g/m ²	Oli Finish 2K-PUR-Lackfarbe 40.25 RAL 9005 (schwarz) mit Härter 11.1/HV	ca. 100 g/m ²
Klarlack	Oli Finish Aqua Spritzlack 15.10-3 farblos, seidenmatt	80 ... 110 g/m ²	Oli Finish 2K-PUR-Lack 25.50-2 matt mit Härter 11.1/HV	ca. 80 g/m ²

Plattengröße: 320 mm x 251 mm x 16 mm

Fläche: 0,1 m²

je Variante: 2 Platten 5 m/min nur Füller ohne Zwischenschliff

4 Platten 5 m/min komplett lackiert, Lack + Klarlack „naß in naß“ verarbeiten

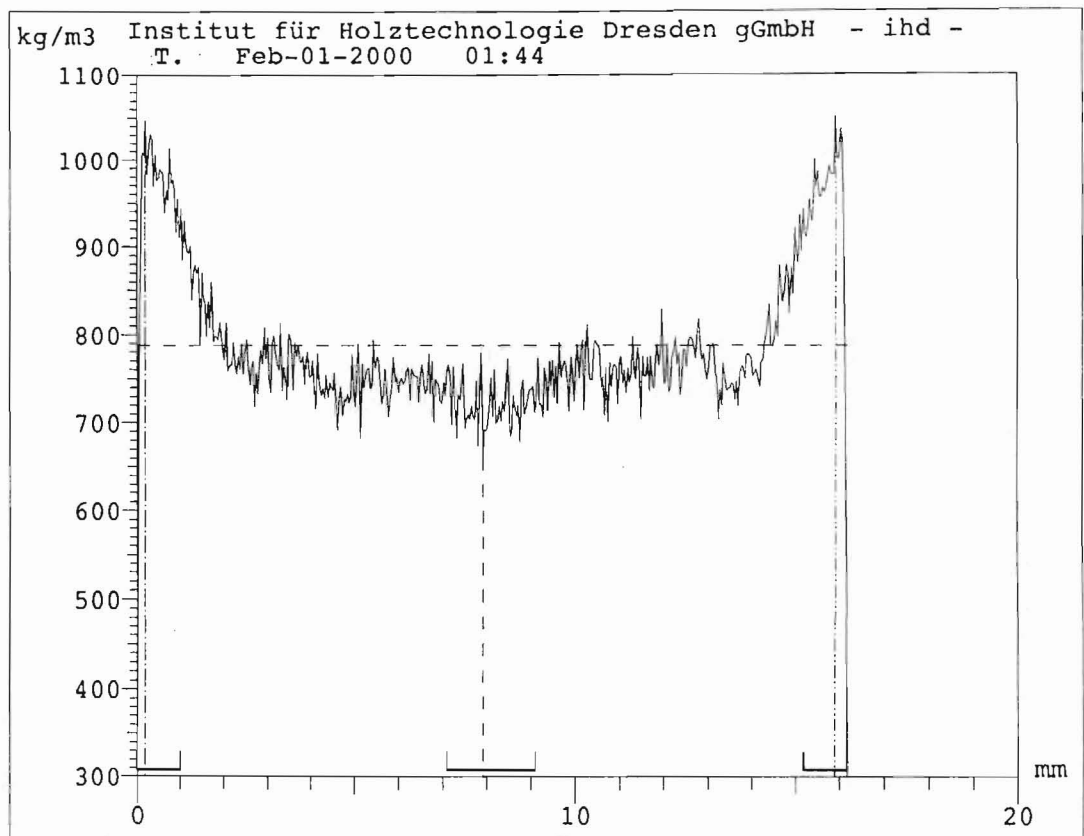
4 Platten 3 m/min komplett lackiert, Lack + Klarlack „naß in naß“ verarbeiten

Düsengröße 1,8 mm

Luftdruck: 0,35 MPa

Verarbeitung in Lieferviskosität

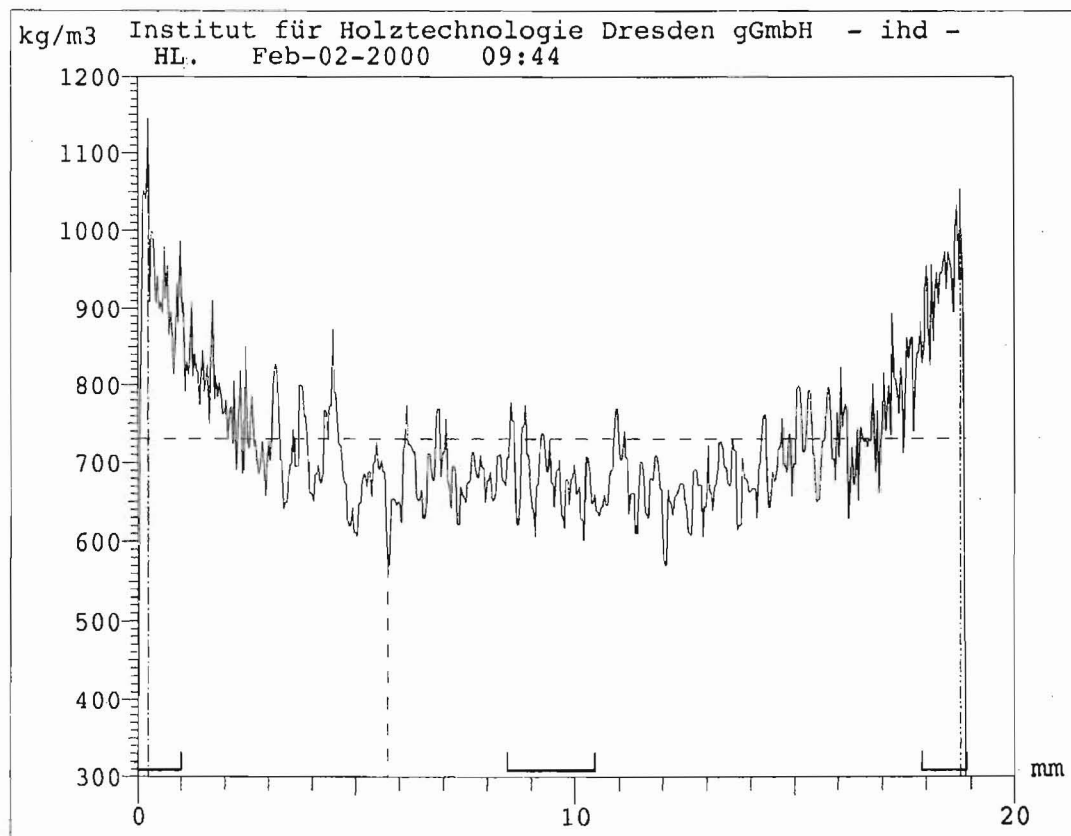
Anlage 4: Rohdichteprofil einer Mitteldichten Faserplatte (Typ T)



RAYTEST PROFILE MESSUNG Version 1.36

Typ:	MDF_T
Dichtekalibrierung:	selbstkalibriert
Genauigkeit:	1.0 % => 6.400 s/Schritt
Dicke:	16.180 mm
Dichte:	787.5 kg/m ³
Mittlere Dichte:	787.2 kg/m ³
Mittlere Dichte (oben):	941.7 kg/m ³ [0.00 mm ,1.00 mm]
Mittlere Dichte (mitte):	720.9 kg m ³ [-1.00 mm ,1.00 mm]
Mittlere Dichte (unten):	938.7 kg/m ³ [0.00 mm ,1.00 mm]
Maximale Dichte (oben):	1047.4 kg/m ³ (0.19 mm)
Minimale Dichte (Mitte):	659.7 kg/m ³ (-0.18 mm)
Maximale Dichte (unten):	1052.1 kg/m ³ (0.28 mm)
Mittel oben/Mittel unten:	100.3 %
Mittel Mitte/Dichte:	91.5 %
Maximum oben/Maximum unten:	99.6 %
Minimum/Dichte:	83.8 %

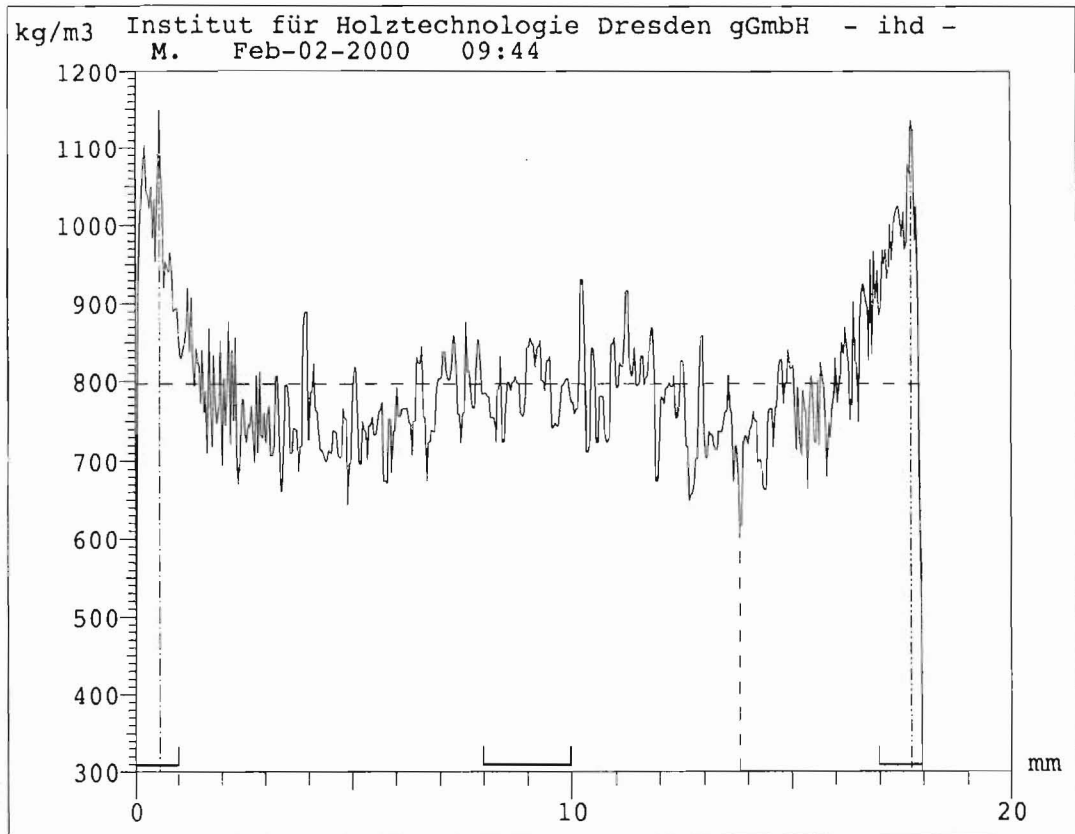
Anlage 4: Rohdichteprofil einer Mitteldichten Faserplatte (Typ HL)



RAYTEST PROFILE MESSUNG Version 1.36

Typ:	MDF_HL
Dichtekalibrierung:	selbstkalibriert
Genauigkeit:	2.0 % => 1.600 s/Schritt
Genauigkeitsmodus:	Faktor 3 mit Niveau 3 %
Dicke:	18.905 mm
Dichte:	730.4 kg/m ³
Mittlere Dichte:	729.4 kg/m ³
Mittlere Dichte (oben):	910.5 kg/m ³ [0.00 mm ,1.00 mm]
Mittlere Dichte (mitte):	681.9 kg/m ³ [-1.00 mm ,1.00 mm]
Mittlere Dichte (unten):	916.2 kg/m ³ [0.00 mm ,1.00 mm]
Maximale Dichte (oben):	1146.1 kg/m ³ (0.24 mm)
Minimale Dichte (Mitte):	571.9 kg/m ³ (-3.70 mm)
Maximale Dichte (unten):	1053.9 kg/m ³ (0.14 mm)
Mittel oben/Mittel unten:	99.4 %
Mittel Mitte/Dichte:	93.4 %
Maximum oben/Maximum unten:	108.7 %
Minimum/Dichte:	78.3 %

Anlage 4: Rohdichteprofil einer Mitteldichten Faserplatte (Typ M)



RAYTEST PROFILE MESSUNG Version 1.36

Typ:	MDF_M
Dichtekalibrierung:	selbstkalibriert
Genauigkeit:	2.0 % => 1.600 s/Schritt
Genauigkeitsmodus:	Faktor 3 mit Niveau 3 %
Dicke:	17.980 mm
Dichte:	796.8 kg/m ³
Mittlere Dichte:	796.0 kg/m ³
Mittlere Dichte (oben):	979.1 kg/m ³ [0.00 mm ,1.00 mm]
Mittlere Dichte (mitte):	791.2 kg/m ³ [-1.00 mm ,1.00 mm]
Mittlere Dichte (unten):	964.2 kg/m ³ [0.00 mm ,1.00 mm]
Maximale Dichte (oben):	1150.5 kg/m ³ (0.56 mm)
Minimale Dichte (Mitte):	618.0 kg/m ³ (4.84 mm)
Maximale Dichte (unten):	1137.8 kg/m ³ (0.25 mm)
Mittel oben/Mittel unten:	101.6 %
Mittel Mitte/Dichte:	99.3 %
Maximum oben/Maximum unten:	101.1 %
Minimum/Dichte:	77.6 %