



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology



Institut für Fertigungstechnik und  
Photonische Technologien  
Getreidemarkt 9/BA/OG 8  
A-1060 Wien  
<http://www.ift.at>

Herrn  
Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe  
Vorsitzender des Promotionsausschusses

Fakultät Maschinenbau  
Promotionsausschuss  
Campus Nord, Einfahrt 4-7  
Leonhard-Euler-Straße 5  
D-44227 Dortmund

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.  
**Friedrich Bleicher**  
Institutsvorstand  
T +43 1 58801 31101  
F +43 1 58801 931101  
M +43 664 60 588 3110  
E [bleicher@ift.at](mailto:bleicher@ift.at)

Ihr Zeichen / Ihre Nachricht vom  
- / 16.05.2019

unser Zeichen

unser Bearbeiter / Nebenstelle  
Bleicher / 31100

Datum  
09.06.2019

## **Gutachten zur Dissertation**

„Innenkonturieren und Walzen tiefgebohrter Grundbohrungen“

vorgelegt von Maximilian Metzger, MSc

### *Zielstellung*

Es werden heute im Maschinenbau vermehrt moderne Simulationswerkzeuge genutzt, um die funktionelle Gestaltung von Bauteilen an die Grenzen des physikalisch machbaren heranzuführen. In Analogie zur Natur, das direkte Übertragen von Phänomenen der Natur auf die Technik wird mit dem Begriff Bionik überschrieben, werden im Zuge der geometrischen Gestaltung die funktionellen Lastkollektive hinterlegt und der Werkstoffeinsatz an den Stellen der Lastpfade lokalisiert. Dieser Zugang führt zusammen mit der Verwendung von Hochleistungswerkstoffen zu erweiterten Möglichkeiten des effizienten Materialeinsatzes und des Leichtbaus. In den industriellen Fertigungsprozessen bedingt dies jedoch neue Herausforderungen durch enge Toleranzen, gesteigerte Anforderungen an die Oberflächenqualität und komplexe Werkstückgeometrien. In diesem Zusammenhang stellt die Herstellung von Werkstücken mit tiefen Bohrungen und entsprechend gestalteten Innengeometrien ein komplexes Thema mit Forschungsbedarf dar. Hieraus leitet Herr Metzger die Zielsetzung der vorliegenden Dissertationsschrift ab. Er widmet sich der Fragestellung, eine Auskammertechnologie für das Innenkonturieren und Walzen tiefgebohrter Grundbohrungen zu entwickeln. Herr Metzger integriert ein neuartiges Auskammerwerkzeugsystem auf einer BTA-Tiefbohrmaschine und verwendet dieses zur Bearbeitung beliebiger Bohrungsgrund- und Bohrungswandkonturen in mehreren Metern Bohrtiefe. Durch diesen Versuchsaufbau gelingt es

erstmalig, die konturierten Bereiche der Bohrungswand durch ein Walzverfahren mechanisch nachzubearbeiten und damit neben einer hohen Oberflächengüte auch günstige Eigenspannungszustände und Härtewerte in den Bohrungsrändern zu erreichen.

### *Wissenschaftlicher Inhalt*

Die vorgelegte Dissertationsschrift umfasst neun Kapitel. In Kapitel 1 beschreibt Herr Metzger die Anforderungen an die Fertigungstechnik, die aus dem konstruktiven Leichtbau und der Auslegung von höher belastbaren und leistungsfähigeren Komponenten resultieren. Er leitet daraus den Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit ab und führt in das Thema der Entwicklung und des Einsatzes eines neuartigen Auskammerwerkzeugsystems zur Herstellung innenkonturierter Bauteile ein. Mit Kapitel 2 gibt Herr Metzger einen inhaltlich ausführlich und sorgfältig recherchierten Überblick über den Stand der Technik und thematisiert Verfahren zur Bohrungsinnenkonturierung und zur Nachbearbeitung von Tiefbohrungen. Er zeigt die Anwendungsgebiete innenkonturierter Bauteile auf und nennt Beispiele der produzierenden Industrie, des Transportverkehrs oder der Energiegewinnung, aber auch der Lebensmitteltechnologie. In Kapitel 3 überträgt Herr Metzger diese grundlegenden Ausführungen auf den Forschungsbedarf und fasst die Zielsetzung der Arbeit zusammen. Auf Basis einer übersichtlichen grafischen Darstellung gibt er einen Überblick zu den Schwerpunkten seiner wissenschaftlichen Tätigkeit. Dem folgt in Kapitel 4 die ausführliche Beschreibung der Installation der neuartigen Auskammertechnologie auf einer Tiefbohrmaschine und der experimentellen Randbedingungen unter Berücksichtigung der eingesetzten Versuchswerkstoffe. Die experimentellen Untersuchungen erfolgen stets mit rotierendem Werkstück und stehendem Werkzeug. Herr Metzger lässt in Kapitel 5 detaillierte Grundlagenuntersuchungen zur Außenlängsdrehbearbeitung folgen. Er analysiert den Einfluss der Werkzeuggestalt und -beschichtung sowie der Schnittdaten auf die Oberflächengüte. Hierbei untersucht er die Abhängigkeit der entstehenden Spanformen vom Vorschub und berücksichtigt die drei Versuchswerkstoffe, den unlegierten Vergütungsstahl C45, den legierten Vergütungsstahl 42CrMo4+QT sowie den Einsatzstahl 16MnCr5. In Ergänzung zur Ermittlung geeigneter Prozessparameter für das Außenlängsdrehen folgt in Kapitel 6 die Grundlagenuntersuchung zur Walzbearbeitung. Mit der Ausrichtung auf die Anwendung für das Innenkonturieren erfolgten für das Walzen mit hydrostatisch gelagerten Walzkugeln weitreichende Grundlagenuntersuchungen. Herr Metzger kann in den experimentellen Untersuchungen mit unterschiedlichen Walzkugeldurchmessern und mit verschiedenen Walzstrategien (z.B. Variation der Walzkraft) die Auswirkung auf die Oberflächeneinebnung nachweisen; ein günstiger Kugeldurchmesser ergibt sich mit 6 mm bei Walzvorschüben unter 0,1mm/U. Es lässt sich damit eine Oberflächeneinebnung von  $R_z < 1 \mu\text{m}$  realisieren. Für die Fertigungsverfahren Drehen und Walzen kann er dabei - unter Berücksichtigung der Prozessrandbedingungen in innenkonturierten Bohrungen - deren Wechselwirkungen erklären. In Kapitel 7 kommt Herr Metzger zum Kern seiner wissenschaftlichen Arbeit und entwickelt ein Auskammerwerkzeugsystem zur Innenkonturierung tiefer Bohrungen. Er beschreibt ausführlich dessen mechanischen Aufbau und erläutert die Integration auf einer BTA-Tiefbohrmaschine. Das Werkzeugsystem basiert auf einem Werkzeuggrundkörper und ist über ein Sonderbohrgestänge an das auf der Tiefbohrmaschine applizierte Auskammerwerkzeug-Antriebssystem angekoppelt. Diese mechanische Verbindung in der Funktion einer Schubstange ermöglicht es, eine rotatorische Bewegung der Kassette im Bearbeitungskopf des Auskammerwerkzeug-

systems kontrolliert umzusetzen. An dem Bohrrohr kann zwischen einem BTA-Vollbohrkopf und dem Auskammerwerkzeugsystem zum Spanen bzw. Walzen flexibel gewechselt werden. Auf Basis dieser innovativen Versuchseinrichtung untersucht Herr Metzger in einem ausführlich und detailliert verfassten Kapitel 8 die Herstellung innenkonturierter Tiefbohrungen. Zunächst entwickelt er - angepasst an die zu fertigende Bauteilkontur - die erforderlichen Kassetten zur Aufnahme des Zerspanwerkzeugs und des Walzkopfes. Das Längenverhältnis von Bohrungswand zu Bohrungsgrund berücksichtigt er durch die Auslegung einer Walzkassette mit zwei gegenüberliegenden Walzelementen. Neben den Vorteilen durch gegeneinander wirkende Kraftkomponenten erschließt die Walzkassette mit zwei Walzelementen Produktivitätsvorteile. Durch die Verwendung des Sonderbohrgestänges reduziert sich der übliche Bohrrohrdurchmesser auf ca. ein Viertel des Querschnitts. Dem trägt Herr Metzger Rechnung und passt die Parameter des Bohrprozesses für eine geeignete Spanerzeugung und -ausbringung an. Hierfür nutzt er die Erkenntnisse aus den Grundlagenversuchen in Kapitel 5. Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen kann Herr Metzger Auskammerungen im Bereich der Bohrungswand und auch am Übergang zwischen Bohrungswand und -grund bei hohen Oberflächengüten erreichen. Er kann eine umfassend innenkonturierte Grundbohrung unter Verwendung verschiedener Walzkassetten vollständig glattwalzen. Damit gelingt es Herrn Metzger, die Auskammertechnologie auf einen neuen Stand der Technik zu heben. Weiterführend untersucht er die Möglichkeiten der Bearbeitung amagnetischer, austenitischer Stähle für die Erdöl- und Gasexploration. Dabei eröffnet das Festwalzen des durch den BTA-Bohrprozess erzeugten Verformungsmartensits ein Einbringen hoher Verfestigungen von  $HV_{0,025} = 700$  mit Eindringtiefen von bis zu  $300 \mu\text{m}$ . Mit geringen Oberflächenrauheiten von  $Rz < 1 \mu\text{m}$  weist Herr Metzger die Funktionstauglichkeit des neuartigen Auskammerwerkzeugsystems auch für diese Werkstoffqualitäten nach. Die Zusammenfassung in Kapitel 9 mit Ausblick auf weiterführende Entwicklungsansätze, beispielsweise einer direkten Integration des Motorantriebs im Werkzeuggrundkörper, und ergänzende experimentelle Arbeiten schließt die Arbeit und rundet die Gesamtbetrachtung ab.

Herrn Metzger gelingt es damit erstmalig, durch das im Rahmen der gegenständlichen Arbeit entwickelte Auskammerwerkzeugsystem nahezu beliebige Bohrungsgrund- und Bohrungswandkonturen in tiefen Bohrungen zu erzeugen. Für hochbelastbare Bauteile bietet das System die Möglichkeit, die innenkonturierten Grundbohrungen über die mechanische Nachbearbeitung durch das Festwalzen zu glätten und neben der Steigerung der Oberflächengüte auch Druckeigenspannungen in den Bauteilrandzonen zu induzieren. Er leistet durch seine wissenschaftliche Ausarbeitung einen bedeutenden Beitrag für den konstruktiven Leichtbau, der eine rasche Überleitung seiner innovativen Technologie in die industrielle Anwendung erwarten lässt. Die von Herrn Metzger vorgelegte Arbeit zeigt einen hohen Grad an Originalität und greift ein inhaltlich weit gefasstes Thema mit maschinen- und prozesseitigen Fragestellungen auf. Den Anforderungen an eine Dissertationsschrift entspricht die vorgelegte Arbeit in jeder Hinsicht.

#### *Form und Ausdruck, Gesamteindruck*

Herr Metzger hat mit der vorgelegten Arbeit gezeigt, dass er es versteht, selbständig wissenschaftlich und mit systematischer Vorgehensweise zu arbeiten. Die Dissertation überzeugt durch einen strukturierten Aufbau. Die Ergebnisse sind in klarer textlicher

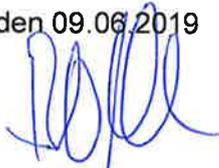
Beschreibung dargestellt. Hervorzuheben ist insbesondere die Qualität der Abbildungen, die damit in äußerst anschaulicher Form die technischen Zusammenhänge vermitteln. Die Arbeit besticht durch eine flüssige Formulierung in den fachlichen Ausführungen. Den Anforderungen an eine Dissertation in Form und Ausdruck wird die vorgelegte Arbeit in hervorragender Form gerecht.

*Bewertung*

Zusammenfassend empfehle ich daher der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund die Annahme der vorgelegten Arbeit von Herr Metzger und die Fortführung des Promotionsverfahrens.

Aus der Sicht des Unterzeichneten ist die Arbeit mit dem Kalkül „ausgezeichnet“ zu bewerten.

Wien, den 09.06.2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'F. Bleicher', written over the date.

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. habil. Friedrich Bleicher  
Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien  
Technische Universität Wien