



Abb. 1: Direktangetriebenes Bohrmodul (Foto: Wittenstein)

Direktangetriebene Bohrmodule

Eine Alternative zu konventionellen Bohraggregaten? – Zur Beantwortung dieser Frage wurden am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Universität Braunschweig Testreihen zur Ermittlung der Prozessparameterkenngrößen beim Bohren mit Hochleistungsspindelssystemen der Wittenstein motion control durchgeführt. **DR.-ING. H.-W. HOFFMEISTER UND MARTIN LUIG**¹

➤ Sei es zur Fertigung von Lochreihen kleiner Durchmesser oder zur Einsparung von Nebenzeiten beim Bohren von Beschlagsaufnahmen – von den Nebenaggregaten konventioneller CNC-Bearbeitungszentren wird zunehmend mehr Flexibilität und Variantenvielfalt verlangt [1]. Dazu wurde vom Geschäftsbereich tool drives des Unternehmens Wittenstein motion control (WMC) erstmals auf der Messe Forum Maschinenbau in Bad Salzungen im Jahr 2009 ein direkt angetriebenes Bohrmodul vorgestellt (Abb. 1). WMC ist einer von sieben Unternehmensbereichen des Mechatronikspezialisten Wittenstein AG. Ein wesentliches Ziel dieser Innovation besteht in der Effizienzsteigerung des Fertigungsprozesses in der Bearbeitung von Holz- und Holzverbundwerkstoffen. Zur Überwachung des Prozesses wurden mit einem Prototyp dieses Bohraggregates umfangreiche Tests am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der TU Braunschweig durchgeführt. Durch die Ermittlung der auftretenden Prozessparameter Drehmoment, Vorschubkraft und elektrische Leistung sollte das technische Verhalten untersucht werden.

Da ein möglichst großes Einsatzgebiet angestrebt wird, wurde bei der Konstruktion viel Wert auf eine hohe Flexibilität des Aggregates gelegt. Ein Modul besteht aus jeweils zwei direktangetriebenen Motorspindeln, welche eine Drehzahl von bis zu 18000 U/min bereitstellen. Im Gegensatz zu konventionellen Bohrgetrieben sind dabei sowohl beide Spindeldrehzahlen als auch deren Drehrichtung

individuell regelbar. Des Weiteren ermöglicht ein integrierter Pneumatikzylinder jede Spindel über einen Hub von 60 mm separat zur Bearbeitung anzustellen. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass mehrere im Baukastenprinzip angeordnete Module die Flexibilität und Variantenvielfalt zu fertigender Bohrbilder erhöhen. Die Module werden dazu mit Hilfe eines frei konfigurierbaren Rahmens an der Verfahrenseinheit der Bearbeitungsmaschine, welche die eigentliche Vorschubbewegung ausführt, befestigt. Um dabei die bewegte Masse zu reduzieren, werden alle zur Steuerung und Regelung notwendigen Komponenten in einer externen Steuerbox (Control Box) untergebracht. Der Aufbau dieser Einheit ist so konzipiert, dass gleichzeitig bis zu 14 Spindeln bedient werden können.

Um den Marktanforderungen eines prozesssicheren und effizienten Systems nachzukommen, war es für die WMC tool drives von besonderem Interesse die Kenngrößen der Prozessparameter aufzuzeigen. Die dazu am IWF durchgeführten Testreihen basierten im Wesentlichen auf der Variation der verwendeten Prozessparameter bei der Fertigung einer Sacklochbohrung mit einer Tiefe von 12 mm. Darin enthalten war die Änderung der Vorschubgeschwindigkeit im Bereich von $v_f = 8$ bis 14 m/min, der Drehzahl zwischen $n = 9000$ bis 15000 U/min und der Werkzeughdurchmesser von $D = 5$ bis 15 mm. Da das Hauptanwendungsgebiet der Bohrmodule im Bereich der Bearbeitung von Holz- und Holzverbundwerkstoffen liegt, wurden ferner die vier Werkstoffe Spanplatte, Küchenarbeitsplatte sowie stellvertretend Buche und Kiefer als Massivholz untersucht. Durch die parallel zur Fertigung einer Bohrung aufgezeichneten Verläufe für das erforderliche Drehmoment, der resultierenden Vorschubkraft und der benötigten elektrischen Leistung konnte die Prozesscharakteristik des Bohrmoduls bestimmt werden.

¹⁾ Dr.-Ing. Hans-Werner Hoffmeister ist Lehrbeauftragter für Fertigungstechnik und Abteilungsleiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der Technischen Universität Braunschweig. Dipl.-Ing. Martin Luig (FH) arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Institut.

Bei den Testreihen diente das dem IWF zur Verfügung stehende Bearbeitungszentrum von IMA als Versuchsmaschine. Dazu wurde das Bohrmodul an der Verfahrenseinheit des Auslegers montiert, um so eine präzise Anstellung entlang aller Achsrichtungen zu gewährleisten. Zur Aufnahme der Prozessparameter wurde ein Vier-Komponenten-Dynamometer von Kistler und ein Leistungsmessgerät von Vydas in der Maschine installiert.

Zum Vergleich sämtlicher durchgeführter Testreihen untereinander wurde die jeweils maximale Belastung je Bohrung für die Auswertung herangezogen. Die dazu exemplarisch in den Abb. 2 bis 4 dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf den untersuchten Werkstoff Spanplatte. Die drei Diagramme zeigen den Verlauf des Drehmomentes, der Vorschubkraft und der elektrischen Leistung in Abhängigkeit der Schnittgeschwindigkeit. In jedem der Diagramme ist das Verhalten der Prozesskenngrößen für unterschiedliche Bohrerdurchmesser und Vorschubgeschwindigkeiten dargestellt. Die grau markierten Bereiche stellen die Schwankungsgrößen der Messwerte dar. Sowohl bei der Vorschubkraft als auch bei dem Drehmoment ist eine fallende Charakteristik mit steigender Schnittgeschwindigkeit festzustellen. Dies ist dadurch zu erklären, dass ein Anstieg in der Drehzahl eine Verringerung der Spandicke zur Folge hat. Da parallel auch eine Minderung des Vorschubes je Zahn eintritt, sinkt auch

die axiale Belastung auf das Bohrmodul. Der Anstieg der elektrischen Leistung bei einer Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit ist hingegen durch den dominierenden Anteil der benötigten Motorleistung zur Bereitstellung des Drehmomentes zu erklären.

Betrachtet man die Abhängigkeit der jeweiligen Durchmesserreihen gegenüber der Vorschubgeschwindigkeit, so ist lediglich durch die rote Kurve bei einem Wert von $v_f = 14$ m/min eine steigende Tendenz festzustellen. Im Unterschied dazu zeigen die Verläufe der anderen Kurven keine Abhängigkeit auf, welche durch eine steigende oder fallende Charakteristik beschrieben werden kann. Aus dem zeitlichen Verlauf des Drehmomentes geht hervor, dass die Belastung nach einem rapiden Anstieg zu Beginn der Bohrung nahezu linear bis zum Ende des Prozesses fällt. Dies widerspricht der Annahme, dass aus einem konstanten Spanvolumen ein konstantes Drehmoment resultiert. Um diese Prozesseigenschaft näher zu untersuchen wurde unter Hinzunahme eines Laservibrometers der tatsächliche Verlauf der Vorschubgeschwindigkeit aufgezeichnet. Das in Abb. 5 dargestellte Diagramm zeigt deren Verläufe ($v_f = 8$ bis 14 m/min) über der Zeit bei steigender Vorschubgeschwindigkeit. Dabei ist jeder Verlauf im Wesentlichen durch drei Bereiche gekennzeichnet. Zu Beginn wird die Verfahrenseinheit im Eilgang angestellt (Anfahrphase), woraufhin diese erneut von Null bis auf die voreingestellte Vorschubgeschwin-

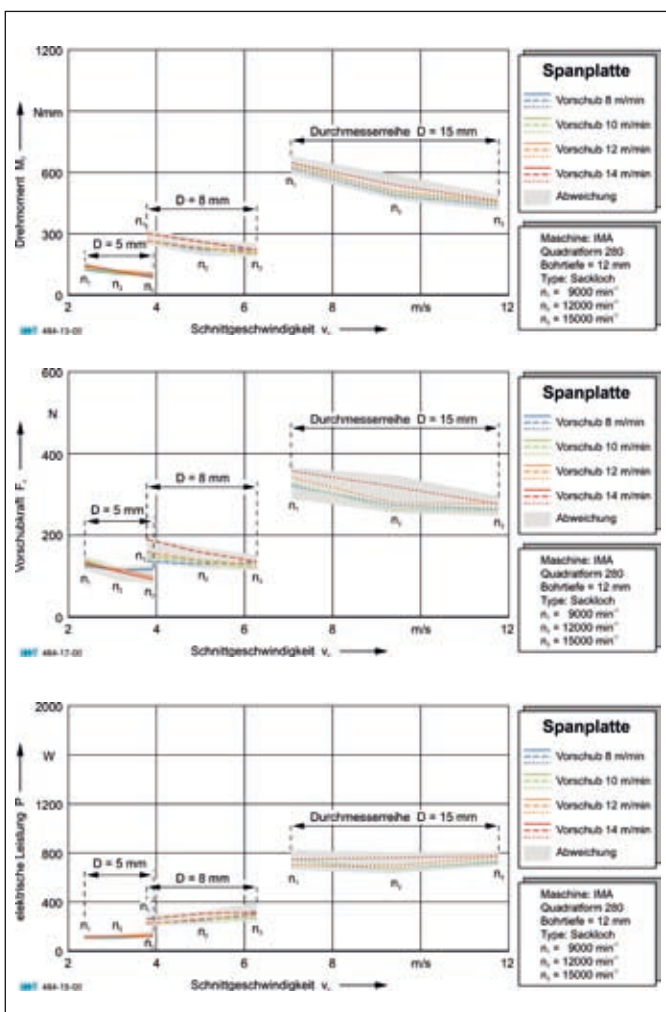


Abb. 2, 3 und 4: Abhängigkeit des Drehmomentes, der Vorschubkraft und der elektrischen Leistung gegenüber der Schnittgeschwindigkeit beim Material Spanplatte (Quelle: IWF, TU Braunschweig)

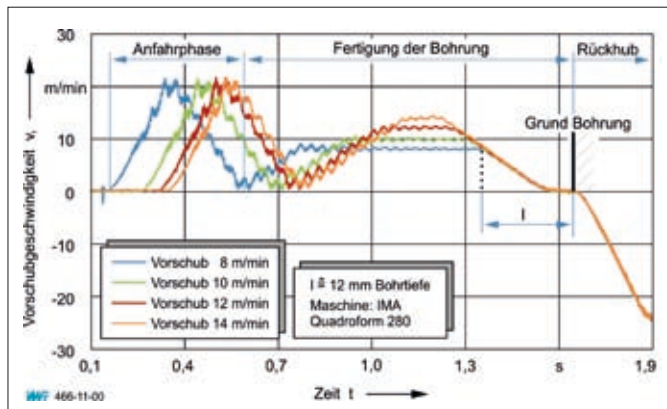


Abb. 5: Vorschubgeschwindigkeit der Verfahreinheit über der Zeit (Quelle: IWF, TU Braunschweig)

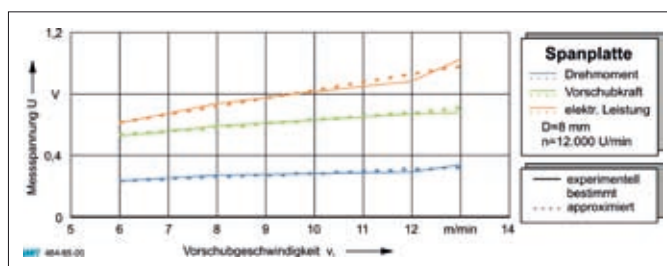


Abb. 6: Messspannung in Abhängigkeit der Vorschubgeschwindigkeit (Quelle: IWF, TU Braunschweig)

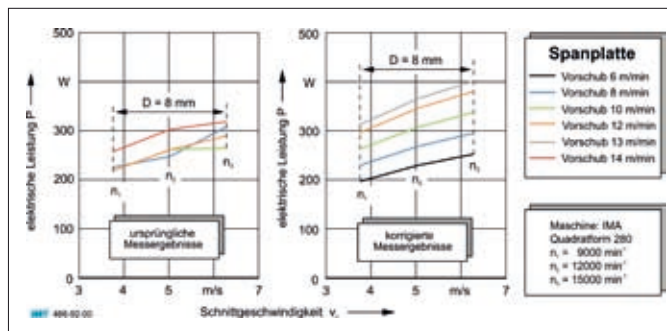


Abb. 7: Gegenüberstellung der ursprünglichen und korrigierten Messergebnisse (Quelle: IWF, TU Braunschweig)

digkeit beschleunigt wird. Nach einem konstanten Abschnitt ist auf Grund der kinematischen Auslegung des Systems ein Abbremsen zum Ende der Fertigung notwendig. Daraufhin kann nach dem Erreichen des Grundes der Bohrung der Rückhub im Eilgang erfolgen. In dem Diagramm wurden die Kurven so in Deckung gebracht, dass sie sich im Punkt des Wertes $v_f = 0$ m/min am Ende der Sacklochbohrung überlagern. Dadurch kann bei einer konstanten Bohrtiefe von diesem Punkt aus der Zeitpunkt des Eintauchens des Bohrers in die Probetafel für die verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten ermittelt werden. Dabei fällt auf, dass das Abbremsen der Verfahreinheit sowohl bei einem Wert von $v_f = 8$ m/min als auch $v_f = 14$ m/min bereits vor dem Bohrprozess begonnen hat. Dementsprechend weisen alle durchgeführten Testreihen nahezu denselben Verlauf der Vorschubgeschwindigkeit auf. Damit wird deutlich, dass in den vorliegenden Untersuchungen eine Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit auf einem konventionellen CNC-Bearbeitungszentrum keinen Einfluss auf die reine Fertigungszeit der Bohrung beziehungsweise

auch auf deren Qualität hat. Es konnte lediglich eine Verringerung der Nebenzeit festgestellt werden, wobei auch dort der Unterschied von der maximalen zur minimalen Vorschubgeschwindigkeit nur 7,5 % aufweist. Ein entsprechendes Verhalten wurde auch in [2] bei Untersuchungen zum Werkzeugverschleiß beim Bohren festgestellt. Darin führte ein gleichartiger Bohrprozessablauf zu einer Verlängerung des Gesamtschnittweges, was sowohl den Verschleiß als auch das Auftreten von Brandspuren förderte.

Um die technologische Abhängigkeit gegenüber einer steigenden Vorschubgeschwindigkeit aufzeigen zu können, wurden weitere Testreihen mit Durchgangsbohrungen anstatt Sacklochbohrungen durchgeführt. Dadurch wurde der Abbremsvorgang der Verfahreinheit erst nach dem Bohreraustritt eingeleitet, sodass über die gesamte Werkstückdicke mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit gebohrt werden konnte. Dazu sind in Abb. 6 für einen Durchmesser von $D = 8$ mm und einer Drehzahl von $n = 12000$ U/min die Verläufe aller Prozessparameter in Abhängigkeit der Vorschubgeschwindigkeit für den Werkstoff Spanplatte aufgetragen. Sowohl für die Vorschubkraft als auch für das Drehmoment und die elektrische Leistung ist eine lineare Zunahme zu erkennen, woraus sich die ursprünglichen Ergebnisse rechnerisch korrigieren lassen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die maximalen Belastungen sowohl bei Durchgangs- als auch bei Sacklochbohrungen beim Auftreffen des Bohrers auf die Deckschicht auftreten. Entsprechend der Markierung I in Abb. 5 ist dadurch festzustellen, dass alle Testreihen einer Vorschubgeschwindigkeit von $v_f \approx 8$ m/min zugewiesen werden können. Somit lassen sich die korrigierten Ergebnisse in Abhängigkeit der Vorschubgeschwindigkeit berechnen, welche exemplarisch für die elektrische Leistung in Abb. 7 dargestellt sind. Am Beispiel der Durchmesserreihe $D = 8$ mm wird gezeigt, dass aus technologischer Sicht eine deutliche steigende Abhängigkeit gegenüber der Vorschubgeschwindigkeit vorliegt.

Fazit Zusammenfassend zeigen die am IWF durchgeführten Testreihen, dass bereits der Prototyp des neuentwickelten Bohrmoduls von WMC tool drives zuverlässig eingesetzt werden kann. Dieses kommt den Marktwünschen nach einem flexiblen und anpassungsfähigen Nebenaggregat durch den Aufbau im modularen Baukastensystem nach und ist leicht in eine bestehende Bearbeitungsmaschine zu integrieren. Die dargelegten Ergebnisse zeigen zum einen, dass sowohl das Drehmoment als auch die Vorschubkraft mit steigender Schnittgeschwindigkeit sinken. Neben einer Reduzierung der Lagerbelastung kann sich ein solches Verhalten auch positiv auf den Werkzeugverschleiß auswirken, indem auch die tangentielle Kraft an der Werkzeugschneide verringert wird. Zum anderen ist zu berücksichtigen, dass die Fertigung von Sacklochbohrungen signifikant von dem Verlauf der Vorschubgeschwindigkeit abhängig ist. Erst bei einer Reduzierung des Abbremsvorganges auf einen Bruchteil der Zeit zur Fertigung einer Bohrung lassen sich Einsparungen in der Fertigungszeit beziehungsweise Änderungen in der Bearbeitungsqualität erzielen.

[1] Westkämper, E.; Kisselbach, A.: Leistungssteigerung beim Bohren – Teil 1, HOB – Die Holzbearbeitung 5/95, S. 94-103, 1995.

[2] Westkämper, E.; Kisselbach, A.: Leistungssteigerung beim Bohren – Teil 2, HOB – Die Holzbearbeitung 6/95, S. 69-75, 1995.