

**Bild 1: Bearbeitungsbeispiel für das Fräsbohren auf einer Fräsmaschine (Bild: SHW, Aalen-Wasseralfingen)**

An- und Ausbohren mit Fräsbohrwerkzeugen:

# Verfahren mit neuem Potential

**Fräsbohren ist eine Kombination der Fertigungsverfahren Innenrundfräsen und Bohren zum Fertigen von Bohrungen ins Volle. Die verfahrensbedingte Kurzspanbildung und die im Vergleich zum Bohren hohen erzielbaren Zeitspannungsvolumina sind gute Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Bohrbearbeitung in der automatisierten Fertigung.**

UWE HEISEL, GUNTER RUZICZKA

**I**ndustriell wird das Fräsbohren bereits als wirtschaftliche Alternative auf Bearbeitungszentren eingesetzt. Mit handelsüblichen Fräs Werkzeugen werden damit Bohrungen ins Volle im Durchmesserbereich von 100 bis 500 mm mit Bohrtiefen von 400 bis 500 mm gefertigt (Bild 1).

Für die Herstellung von Bohrungen im Durchmesserbereich von 88 bis 124 mm mit Bohrtiefen bis etwa 1000 mm stehen am IfW ein Fräsbohrwerkzeug und eine modifizierte Drehmaschine zur Verfügung. Im Gegensatz zum Fräsbohren auf Bear-

beitungszentren mit konventionellen Fräsern wird das Werkzeug in der Bohrung mittels Führungsleisten direkt hinter dem Fräser abgestützt [1, 2]. Dies ermöglicht auch das Fertigen tiefer Bohrungen bis zu einem Tiefe-Durchmesser-Verhältnis von etwa 10:1. Die Zuführung des Kühlschmierstoffes zum Fräser durch die Fräserantriebswelle und den Ringraum zwischen Werkzeug und Bohrungswand gewährleistet ein problemloses Herausspülen der kurzen Späne aus der Bohrung durch die Späneabfuhrnut des Werkzeugs.

Zur Bohrbearbeitung wird das Werkstück im Backenfutter der Drehmaschine und auf der Eintrittseite des Werkzeugs im Zentrierkegel des Bohröl-Zuführapparats gespannt. Die wendelförmige Vorschubbewegung des Fräasers setzt sich dabei aus der axialen Vorschubbewegung des Werkzeugs und der Rundvorschubbewegung durch die Rotation des Werkstücks zusammen, die sich aus dem exzentrisch zur Bohrungsachse gelagerten Fräser ergibt (Bild 2).

Vor der Bohrbearbeitung wird der Fräser so weit radial zugestellt, dass der hergestellte Bohrungsdurchmesser wenige Mikrometer grösser ist als der Hüllkreisdurchmesser der Führungsleisten. Danach kann zum Erzielen einer geringeren Rauheit ein Schlichtschnitt mit erhöhter Schnittgeschwindigkeit aus der Bohrung heraus durchgeführt werden.

## **Antriebsmomente beim Fräsbohren**

Die Fräserantriebsmomente ins Volle wurden mit ein- und sechszahnigen Fräsern ermittelt [3]. Die ersteren haben den Vorteil, dass Störeinflüsse durch Rund- und Planlauffehler vermieden werden und Aussagen über die an einem einzelnen Fräserzahn vorhandenen Zerspanungsvorgänge möglich sind. Zerspanungsuntersuchungen mit mehrzahnigen Fräsern erlauben eine Beurteilung der statischen und dynamischen Fräserantriebsmomente für den praktischen Einsatz.

Beim Fräsbohren ins Volle sind die Fräserzähne, im Gegensatz zum Stumpplanfräsen, während der ganzen Fräserumdrehung ununterbrochen im Eingriff. Charakteristisch für das Fräsbohren mit runden Schneiden sind hohe Fräserantriebsmomente im Bereich der Bohrungswand [4]. Dadurch wird die torsionsweiche Fräserantriebswelle zu Torsionseigen-schwingungen angeregt und dynamisch hoch beansprucht. Eine Steigerung des Zeitspannungsvolumens durch Erhöhen der statischen Fräserantriebsmomente setzt eine Verringerung der dynamischen Fräserantriebsmomente voraus. Erreichbar ist dies durch geeignete Wahl der Schnittgeschwindigkeit, der Werkstückdrehzahl und -drehrichtung sowie der Vorschubgeschwindigkeit, da eine Änderung dieser Bearbeitungsparameter eine Änderung der Spannungsfläche und damit auch der statischen und dynamischen Fräserantriebsmomente ergibt.

### Antriebsmomente beim An- und Ausbohren

Zerspanungsuntersuchungen mit mehrzahnigen Fräsern ergaben ein geringeres dynamisches Fräserantriebsmoment im Gegenlauf. Dies entspricht dem Fräserantriebsmoment nach dem Ausbohrvorgang beim Werkstück-Stellungswinkel  $\varphi_w = 2\pi$  (Bild 3). Während des Anbohrvorgangs kommen die Fräaserschneiden nach dem ersten Einschneiden innerhalb einer Werkstückumdrehung vollständig in Eingriff (Bild 3 links). Die Verläufe der statischen Fräserantriebsmomente sind im Gleich- und Gegenlauf annähernd gleich. Sie steigen während der ersten halben Werkstückumdrehung ( $\varphi_w = 0$  bis  $\pi$ ) stärker an als während der zweiten halben Umdrehung ( $\varphi_w = \pi$  bis  $2\pi$ ). Im Gegenlauf sind die dynamischen Fräserantriebsmomente während der ersten halben Werkstückumdrehung höher als während der zweiten. Zusammen mit dem statischen Fräserantriebsmoment ergibt sich daraus während des Anbohrvorgangs zeitweise ein höheres maximales Fräserantriebsmoment als beim anschließenden Fräsbohren ins Volle.

Nach dem Anbohren ändert sich das statische und dynamische Fräserantriebsmoment bis zum Ausbohren dann nur aufgrund des wachsenden

Schneidenverschleisses mit zunehmender Bohrtiefe. Im Gleichlauf wird die maximale Torsionsbelastung der Fräserantriebswelle zwar erst nach dem Anbohrvorgang erreicht, das dynamische Fräserantriebsmoment ist dann aber höher als im Gegenlauf. Die Ursachen dieser Zerspanungsvorgänge während des Ein- und Ausbohrvorgangs liegen im wesentlichen in der wendelförmigen Vorschubbewegung des Fräasers und den daraus resultierenden Spannungsquerschnitten.

Das geringere Fräserantriebsmoment im Gegenlauf nach dem Anbohrvorgang verursacht eine entsprechend geringere Torsionsbelastung der Fräserantriebswelle. Bei einer maximal zulässigen Torsionsbelastung dieser Welle kann daher im Vergleich zum Fräsbohren im Gleichlauf eine höhere Vorschubgeschwindigkeit und damit auch ein höheres Zeitspannungsvolumen erzielt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Fräserantriebsmoment bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit während des Anbohrvorgangs höher ist als bei der anschließenden Bohrbearbeitung mit konstantem Zeitspannungsvolumen. Während des Anbohrvorgangs muss die Torsionsbelastung der Fräserantriebswelle durch entsprechendes Reduzieren der Vorschubgeschwindigkeit verringert werden, wenn die maximale Torsionsbelastung der Fräserantriebswelle das maximal zulässige Fräserantriebsmoment überschreitet. Nach dem Anbohren lässt sich dann die Vorschubgeschwindigkeit sukzessive über mehrere Werkstückumdrehungen auf den Sollwert erhöhen.

Der Ausbohrvorgang wurde durch Abstoppen der Vorschubbewegung bei gleichzeitig rotierendem Werkstück dargestellt (Bild 3 rechts). Analog zum Anbohrvorgang ist das dynamische Fräserantriebsmoment im Gegenlauf während der zweiten halben Werkstückumdrehung ( $\varphi_w = 0$  bis  $\pi$ ) höher als während des kontinuierlichen Bohrvorgangs mit konstantem Zeitspannungsvolumen. Daher muss man auch hier während des Ausbohrvorgangs das dynamische Fräserantriebsmoment durch Reduzieren der Vorschubgeschwindigkeit verringern, um das höhere mögliche Zeitspannungsvolumen beim Fräsbohren ins Volle im Gegenlauf zu nutzen.

Beim Durchbohren eines Werkstücks entsteht aufgrund der wendelförmigen Vorschubbewegung des Fräasers und der Vorschubkraft ein Deckel, ähnlich wie dies auch beim Kurzbohren auftritt.

### Zusammenfassung

Die Verfahrenskombination Fräsbohren eignet sich auch zum Herstellen tiefer Bohrungen ins Volle mit einem Längen-Durchmesser-Verhältnis von 10:1. Zerspanungsuntersuchungen mit einschneidigen Fräsern ergaben einen charakteristischen Verlauf der Fräserantriebsmomente. Obwohl die Fräaserschneiden beim Fräsbohren ins Volle durch die axiale Vorschubbewegung – also parallel zur Bohrungsachse – ständig im Eingriff sind, sind die Spannungsquerschnitte und damit

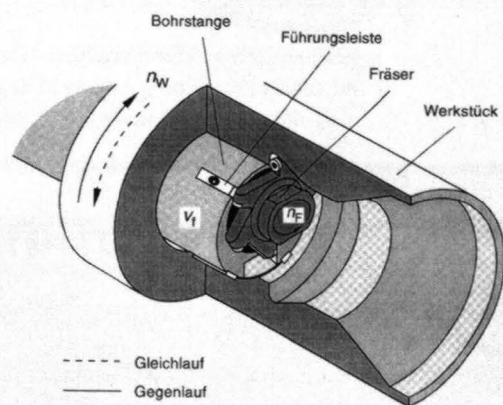
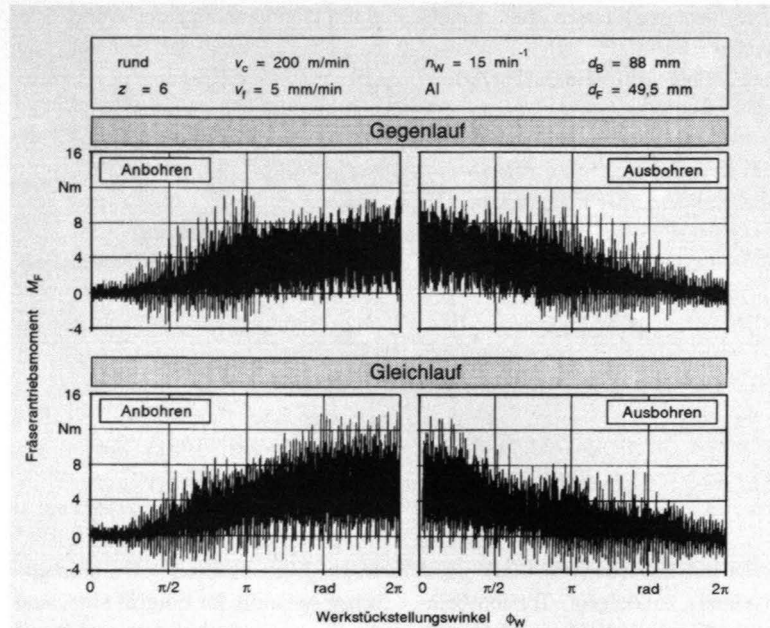


Bild 2: Kinematik beim Fräsbohren

auch die Fräserantriebsmomente vom Fräserstellungswinkel abhängig. Die Bearbeitungsparameter Schnittgeschwindigkeit, Werkstückdrehzahl und -drehrichtung sowie Vorschubgeschwindigkeit haben dabei einen grossen Einfluss auf das Fräserantriebsmoment im Bereich der Bohrungswand und die Anregung der Fräserantriebswelle zu Torsionseigen-schwingungen.

Für die Bohrbearbeitung mit runden Schneiden ist Fräsbohren im Gegenlauf günstiger, weil das geringere dynamische Fräserantriebsmoment ein höheres statisches Moment und damit ein höheres Zeitspannungsvolumen zulässt. Während des An- und Ausbohrvorgangs ist dabei die Torsionsbelastung der Fräserantriebswelle allerdings höher als während



**Bild 3** Fräserantriebsmomente während des An- und Ausbohrvorgangs

des restlichen Bohrvorgangs. Das maximale Fräserantriebsmoment lässt sich daher nur dann nutzen, wenn

während des An- und Ausbohrens die Torsionsbelastung der Fräserantriebswelle durch Reduzieren der

Vorschubgeschwindigkeit verringert wird. Nach dem Anbohrvorgang kann dann die Vorschubgeschwindigkeit wieder sukzessive über mehrere Werkstückumdrehungen auf den Sollwert erhöht werden.

#### Literatur

- [1] Koster A.: Technologische Grundlagen des Fräsbohrens. Dissertation an der Universität Stuttgart, 1988.
- [2] Utz Th.: Herstellen aufgeweiteter Innenkonturen durch Auskammerfräsbohren. Dissertation an der Universität Stuttgart, 1990.
- [3] Heisel U., Ruziczka G.: Auskammerfräsbohren - Bohrbearbeitungsverfahren mit neuem Potential. Dima, Jg. 47 (1993), Nr. 4, S. 28 bis 30.
- [4] Heisel U., Ruziczka G.: Zerspanungsvorgänge beim Auskammerfräsbohren. Dima, Jg. 47 (1993), Nr. 5, S.36 bis 44.

#### Autoren

Uwe Heisel, Dr.-Ing. Dr. h.c., Professor am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart; Gunter Ruziczka, Dipl.-Ing., wissenschaftlicher Mitarbeiter am IfW. Die im IfW durchgeführten Forschungsarbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.