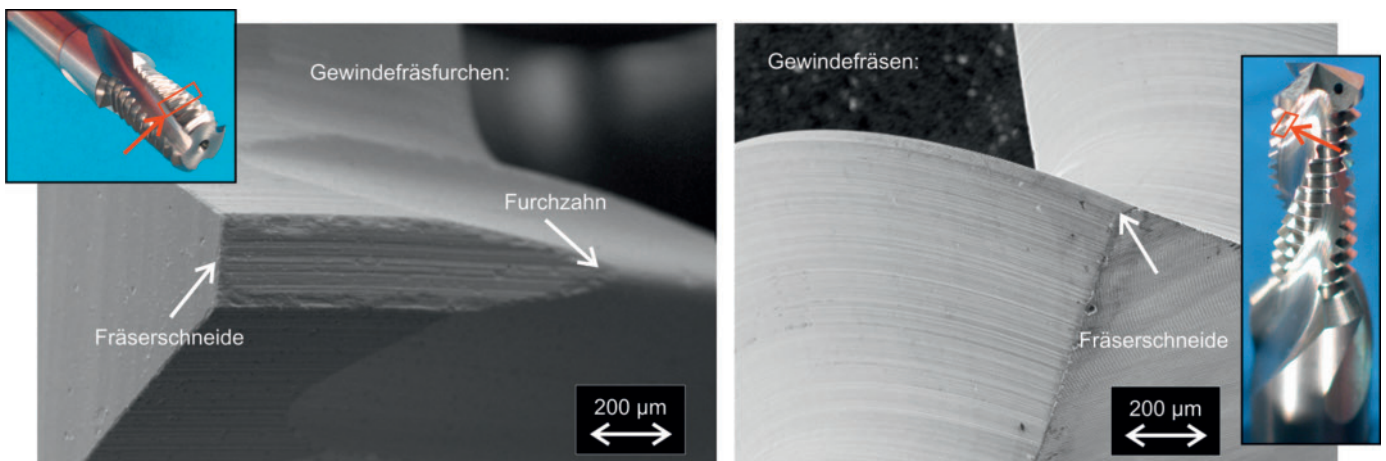


Effizientes Kombinationsverfahren für die Gewindebearbeitung

# Zerspanen und Formen in einem Werkzeug kombiniert

Die Kombination des Gewindefräsprozesses mit einem Gewindefurchverfahren in einem einzigen Werkzeug erlaubt es, die Vorteile eines umformtechnisch hergestellten Gewindes mit der Flexibilität des GewindefräSENS zu vereinen.



1 REM-Aufnahme der Zahnflanken eines GewindefräSfurchnwerkzeugs im Vergleich mit einem konventionellen Bohrgewindefräser der Firma Emuge

VON DIRK BIERMANN UND  
KLAUS PANTKE

→ Schraubverbindungen haben aufgrund ihrer einfachen Handhabung und vielseitiger konstruktiver Möglichkeiten eine herausragende Stellung erlangt. Insbesondere durch die lösbare, aber dennoch sichere Verbindungsmöglichkeit finden nicht nur konstruktive Aspekte, sondern auch Demontage- und Recyclinggedanken Berücksichtigung. Schraubbare Verbindungselemente sind in der Regel durch eine Gewindestange in Form einer Schraube sowie durch ein zugehöriges Innengewinde in einem Bauteil gekennzeichnet. Das einschraubbare Element kann unabhängig vom Bauteil gefertigt werden. Im Gegensatz hierzu stellt das Innengewinde im Bauteil eine Herausforderung an die Kon-

struktions- sowie Fertigungstechnik dar, vor allem vor dem Hintergrund einer wirtschaftlichen Fertigung. Da die Innengewindeherstellung häufig als eine der letzten Fertigungsoperationen in der Wertschöpfungskette angeordnet ist und die zu bearbeitenden Bauteile infolgedessen bereits einen vergleichsweise hohen Wert besitzen, spielt eine prozesssichere Fertigung eine entscheidende ökonomische Rolle.

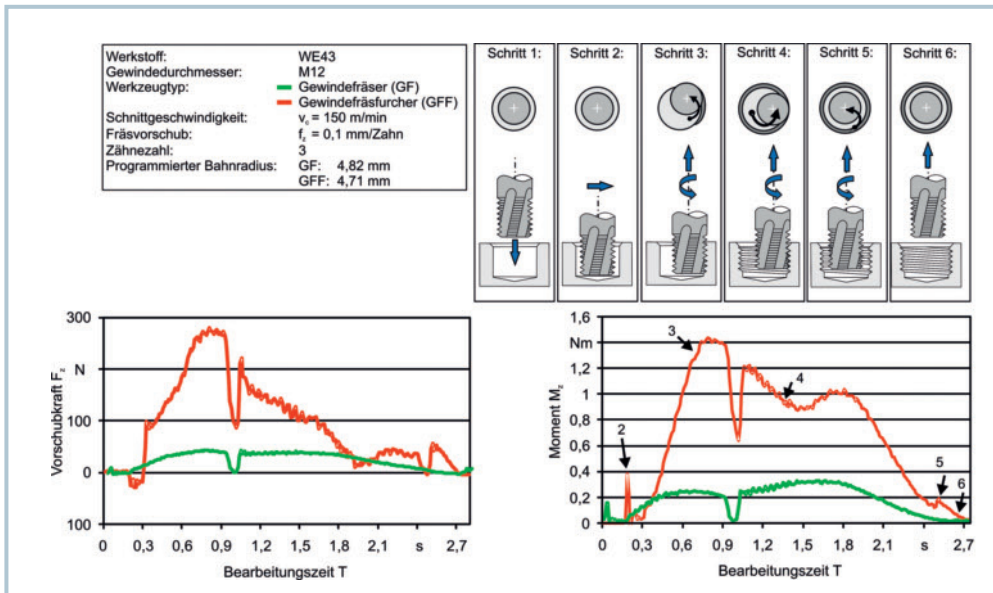
Für die Herstellung von Innengewinden sind bislang vor allem zerspanende Verfahren wie das GewindefräSEN oder

GwindefräSEN von hoher industrieller Bedeutung. Durch die Anpassung von Werkzeug und Prozess ist es möglich, nahezu alle Werkstoffe zu bearbeiten. Bei spanenden Verfahren, vor allem beim GewindefräSEN, ist jedoch der Abtransport der entstehenden Späne entgegen der Vorschubrichtung problematisch, da die Gefahr von Werkzeugbruch durch Verklemmungen des Werkzeugs mit dem gefertigten Gewinde und den Spänen entsteht. Darüber hinaus erreichen Gewinde, die durch einen Zerspanungsprozess erzeugt wurden, eine geringere Festigkeit als vergleichbare, umformtechnisch hergestellte Verbindungselemente [4].

Zur Verbesserung dieser Ausgangssituation wurde vor allem im Bereich kleiner bis mittlerer Durchmesser (circa M3 bis M24) das Gewindeformen entwickelt. In der Literatur ist hierfür häufig auch die Be- >>>

## i INSTITUT

Institut für Spanende Fertigung  
Technische Universität Dortmund  
44227 Dortmund  
Tel. 0231 755-2784, Fax 0231 755-5141  
→ [www.isf.de](http://www.isf.de)



2 Kraft- und Momentenverlauf im Vergleich zwischen Gewindefräsfurchen und Gewindefräsen

»» zeichnung Gewindefurchen oder Gewindefurchen zu finden [1]. Dieses Herstellungsverfahren basiert auf einem Druckumformprozess, bei dem das Gewinde durch das Eindringen des Werkzeugs in ein Werkstück entsteht, wobei das Werkzeug eine schraubenförmige Wirkfläche aufweist. Hierbei ist die Kinematik des Verfahrens identisch mit der eines Gewindefräsenwerkzeugs. Da es sich um ein Umformverfahren handelt, ist ein Werkzeugbruch durch Verkleben von Werkzeug und Span ausgeschlossen. Die Spanfreiheit ist vor allem bei Grundbohrungen von Vorteil, da bei diesem Verfahren die Späne entgegen der Werkzeugvorschubrichtung aus der Bohrung transportiert werden müssen und somit eine erhöhte Gefahr von Werkzeugbruch besteht. Durch die plastische Verformung während des Gewindeform-

prozesses entstehen Eigenspannungen im Gefüge des Gewindes, die positive Auswirkungen auf die statische und speziell auf die dynamische Festigkeit haben [2].

Insbesondere bei Leichtbaukonstruktionen steht häufig die Dichte der verwendeten Werkstoffe im Vordergrund. Magnesiumlegierungen zum Beispiel kommen aufgrund der geringsten Dichte aller technisch nutzbaren metallischen Werkstoffe häufig in solchen Konstruktionen zur Anwendung. Das Hauptanwendungsfeld von Magnesiumdruckgussteilen liegt somit im Automobil- und Flugzeugbau sowie in der Elektroindustrie (Gehäuse). Magnesiumlegierungen sind in der Lage, bei Berücksichtigung einiger materialspezifischer Besonderheiten konventionelle Werkstoffe wie Stahl oder Aluminium zu substituieren. Dank sehr guter Fließigenschaften

lassen sich komplexe Bauteilformen relativ einfach und schnell urformtechnisch herstellen. Um entsprechende Bauteile mit anderen Komponenten zu fügen, werden in der Regel Schraubverbindungen gewählt.

Die Herstellung der hierfür notwendigen Innengewinde erfolgt bislang fast ausschließlich durch Zerspanungsoperationen, da die Anwendung von Gewindeformprozessen in diesem Werkstoff vergleichsweise schwierig ist. Dies liegt darin begründet, dass Magnesium und Magnesiumlegierungen in der hexagonal dichtesten Gitterstruktur (hcp) kristallisieren und daher nur eingeschränkt umformbar sind [3]. Aufgrund der Werkstoffeigenschaften bauen sich bei bereits relativ geringen Verformungsgraden hohe Spannungen auf, wodurch es zu Rissbildung oder Bruch im Bauteil kommt. Das neu

entwickelte Verfahren des Gewindefräsfurchens bietet vor allem für den Werkstoff Magnesium somit eine interessante Alternative. Hierbei wird ein Zerspanungsprozess mit einem Formprozess in einem Werkzeug kombiniert, wobei jedoch das Umformverhältnis relativ gering bleibt und somit auch nur bedingt formbare Werkstoffe wie Magnesium zu bearbeiten sind.

### Spezielle Werkzeuggestalt

Durch Kombination des Gewindefräsfurchens mit einem Gewindefurchverfahren in einem einzigen Werkzeug ist es möglich, die Vorteile eines umformtechnisch hergestellten Gewindes mit der Flexibilität eines Gewindefräsfurchens zu verbinden. Die Kombination dieser beiden Bearbeitungsverfahren wird durch eine spezielle Werkzeuggestalt ermöglicht, die von der Firma Emuge entwickelt wurde. Bild 1 macht den Unterschied der beiden Werkzeugkonzepte anhand einer REM-Aufnahme eines Werkzeugzahns deutlich. Ein Gewindefräsfurchwerkzeug hat im Vergleich zu einem konventionellen Gewindefräswerkzeug entlang der Zahnflanke ein weiteres formendes Element. Hierdurch schneidet das Werkzeug zunächst mit dem Schneidelement das Gewinde und formt direkt im Anschluss mit dem Furchzahn den Bereich des Gewindes nach. Durch dieses Verfahren kann ein Gewinde erzeugt werden, das an den Flanken spanend und im Gewindegrund umformend bearbeitet wurde. Das resultierende Gewinde weist durch die umformende Bearbeitung

eine verbesserte Festigkeit gegenüber konventionellen Gewinden auf.

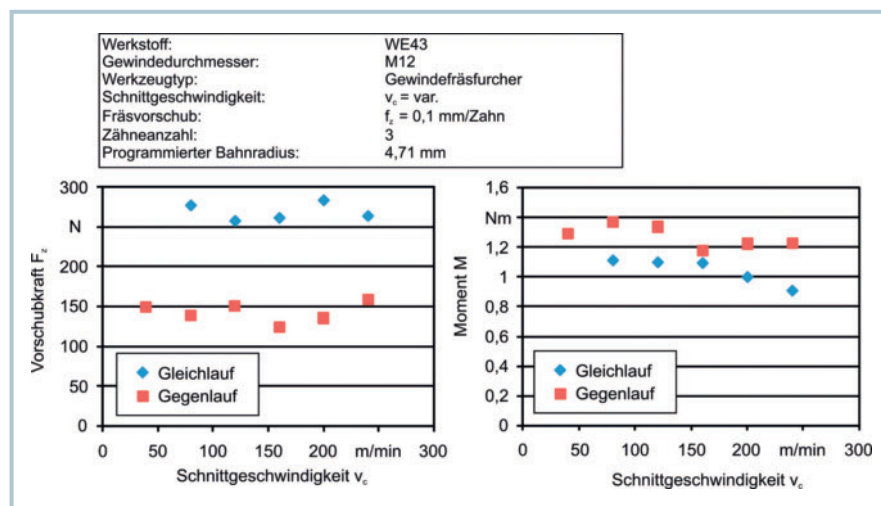
Das beschriebene Werkzeugkonzept wurde für die Herstellung von M12-Gewinden in der Magnesiumlegierung WE43 eingesetzt. Diese hochfeste Magnesiumlegierung zeichnet sich vor allem durch ein verbessertes Korrosionsverhalten gegenüber Standardlegierungen aus. Des Weiteren besitzt diese Legierung aufgrund der Seltenen-Erden-Bestandteile eine Warmfestigkeit bis circa 300° C. Bild 2 zeigt exemplarisch die Kraft- und Momentenbelastungen, die aus der Fertigung eines M12-Innengewindes in der genannten Magnesiumlegierung bei einem Gewindefräsfurchprozess (grün) und einem Gewindefräsfurchverfahren (rot) resultieren. Hierbei sind anhand der Momentenmessung des Gewindefräsfurchers in Bild 2 die ein-

zelnen typischen Verfahrensschritte bei der Erzeugung eines Gewindes durch einen Fräsprozess gekennzeichnet.

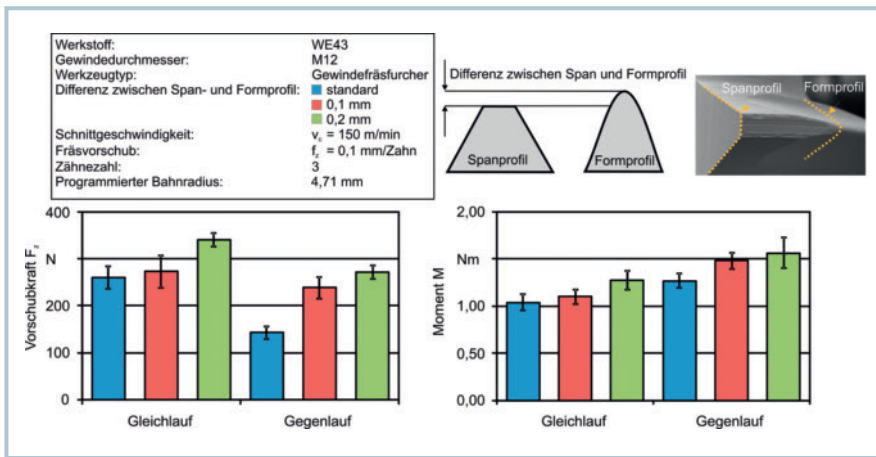
Das Gewindefräsfurchen ist kinematisch identisch mit dem konventionellen Gewindefräsfurchprozess. Dies zeigt sich deutlich an den gemessenen Kräften und Momenten. Außerdem ist bei einem Gewindefräsfurchprozess im Vergleich zum konventionellen Gewindefräsen eine wesentlich höhere Kraft- und Momentenbelastung zu beobachten. Diese erhöhten Belastungen resultieren aus dem Formprozess dieses Werkzeugkonzeptes.

### Schnittgeschwindigkeit hat nur wenig Einfluss auf die Belastung

Der Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Werkzeugbelastung ist als relativ gering zu bewerten. Bild 3 macht dies >>>



3 Kraft- und Momentenverlauf beim Gewindefräsfurchen



4 Werkzeugbelastung in Abhängigkeit der Differenz zwischen Span- und Formprofil

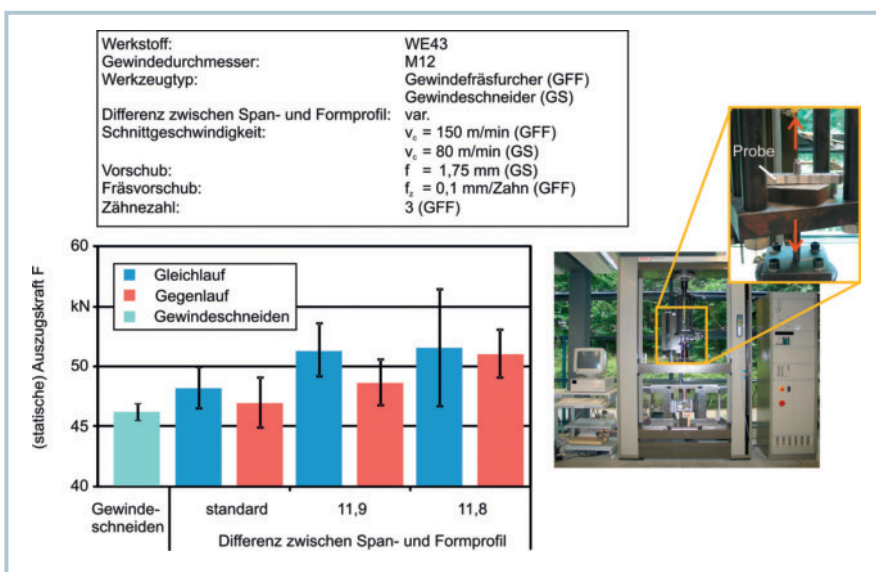
» bei einer Variation der Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  zwischen 40 m/min und 250 m/min deutlich. Sowohl die Vorschubkraft als auch das Moment verlaufen bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten auf einem konstanten Niveau. Es ist jedoch deutlich erkennbar, dass beim Gleichlauffräsen im Vergleich zum Gegenlauffräsen fast die doppelte Vorschubkraft auftritt.

Das Gewindefräsfurchwerkzeug verfügt über ein spezielles Formprofil auf den Zahnelementen. Die Differenz zwischen dem Spanprofil und dem Formprofil beeinflusst den Umformgrad des Gewindes. Um den Einfluss dieser Differenz auf den Bearbeitungsprozess bestimmen zu können, wurden für die hier vorgestellten Untersuchungen neben dem Standardwerkzeug zwei weitere Werkzeuge eingesetzt, die so angeschliffen wurden, dass eine Differenz zwischen Span- und Formprofil von 0,1 beziehungsweise 0,2 mm resultieren. Die Kraft- und Momentenmes-

sungen in Bild 4 zeigen die sich ergebenden Werkzeugbelastungen für das Gleich- und Gegenlauffräsen. Es wird deutlich, dass eine Vergrößerung der Differenz zwischen Span- und Formprofil ein Ansteigen der Werkzeugbelastung bewirkt. Dies ist auf eine Vergrößerung des Umformvolumens zurückzuführen. Auch in Bild 4 ist erkennbar, dass bei einem Gewindefräsfurchprozess im Gleichlauf höhere Werkzeugbelastungen auftreten als im Gegenlauf.

### Erhöhung der statischen Festigkeit der Gewinde

Aus einer Vergrößerung des Umformbereichs resultieren höhere Verfestigungen im gefertigten Gewinde. Dies hat eine Verbesserung der Festigkeitseigenschaften des Gewindes zur Folge. Anhand statischer Gewindeauszugstests wurde die Festigkeit der gefertigten Gewinde überprüft. Bild 5 gibt die hierbei gemessenen maximalen Auszugskräfte wieder.



5 Überprüfung der statischen Gewindefestigkeit

Verglichen werden Gewinde, die mit verschiedenen Gewindefräsfurchwerkzeugen sowie einem konventionellen Gewindeschneidwerkzeug hergestellt wurden. Es wird deutlich, dass bei einem konventionell gefertigten Gewinde im Kontrast zu einem Gewindefräsfurchprozess die statische Festigkeit der Gewinde erhöht wird. Mit steigendem Durchmesser zwischen Span- und Formprofil steigt ebenfalls die statische Festigkeit der erzeugten Gewinde.

Fazit: Gewindefräsfurchen ist ein neuartiges Verfahren, das es ermöglicht, spanende und formende Aspekte einer Gewindefertigung in einem einzigen Werkzeug zu kombinieren. Aufgrund der formenden Anteile dieses Werkzeugs lässt sich die statische Festigkeit der resultierenden Gewinde signifikant erhöhen, ohne wirtschaftliche Einschränkungen durch einen konventionellen Furchprozess hinnehmen zu müssen. Bei der Fertigung ist jedoch zu beachten, dass im Gegenlauf geringere Werkzeugbelastungen als im Gleichlauf zu registrieren sind. ■

Artikel als PDF unter [www.metall-infocenter.de](http://www.metall-infocenter.de)  
Suchbegriff → **WB110069**

## LITERATUR

- 1 Fieber, M.: Die Kontaktbedingungen in der Wirkfläche beim Einsatz beschichteter Werkzeuge als Grundlage zur Prozeßoptimierung am Beispiel der Innengewindefertigung. Fortschrittsberichte VDI, Reihe 2: Fertigungstechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995
- 2 Hechtle, D.: Höhere Belastbarkeit für Schraubenverbindungen. Werkstatt + Betrieb 7-8, 2007, Hanser Verlag, München, 2007
- 3 Schumann, S., Friedrich, H.: Current and Future Use of Magnesium in the Automobile Industry. Second Osaka International Conference on Platform Science and Technology for Advanced Magnesium Alloys, 26.-30. January 2003, Osaka, Japan, 2003
- 4 Zeus, T.: High Performance Tapping and Thread Forming. Smart Solutions for Metal Cutting. 1st International HSS Forum Conference Aachen, 2.-3. Februar, 2005

Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann ist Leiter des Instituts für Spanende Fertigung (ISF) der Technischen Universität Dortmund  
→ [biermann@isf.de](mailto:biermann@isf.de)

Dipl.-Wirt.-Ing. Dipl.-Logist. Klaus Pantke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISF  
→ [pantke@isf.de](mailto:pantke@isf.de)