

# Einlippentieflochbohren in Holzkonstruktionen

Die gegenwärtige übliche Bohrtechnik mittels Schlangen- bzw. Wendelbohrern gewährleistet nicht immer die notwendige Bohrungsqualität hinsichtlich der Mittenabweichung. Bohrungsmittenabweichungen von 3,5 mm je 100 mm Bohrungslänge sind durchaus üblich, da das verhältnismäßig biege- weiche Bohrwerkzeug (Abb. 1) sich den Weg des geringsten Widerstandes sucht und harten Stellen im Holz ausweicht. In Holzkonstruktionen ist es häufig erforderlich, präzise Bohrungen großer Länge einzubringen. Beispielsweise erfolgt die Verbindung von Brettbindern in Groß- und Gesellschaftsbauten mittels eingelassener Knotenbleche. Die Kraftübertragung vom Holzträger auf das Metallknotenblech übernehmen in das Holz eingebrachte Stahldübel, die in entsprechenden Bohrungen des Knotenbleches verankert sind. Mit Hilfe einer Tieflochbohrereinrichtung können erstmalig systematische Tiefbohrversuche in Holz durchgeführt werden. – Von Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Uwe Heisel, Dr.-Ing. habil. Johannes Tröger und Dipl.-Ing. Ralf Eichler<sup>1)</sup>.

## Problemstellung

Das Bohrungsraster des Knotenbleches muß hinreichend genau mit dem Raster der in das Holz einzubringenden Bohrungen übereinstimmen. Vertretbar sind nach Angaben eines führenden Brettbinderherstellers maximal 0,5 mm Mittenabweichung je 100 mm Bohrlänge. Da dies nicht gewährleistet werden kann, entstehen oft kostenaufwendige Verlängerungen der Baumontagezeiten durch Nacharbeit. Dabei werden die Bohrungen im Knotenblech nachgesetzt, wodurch eine gravierende Verschlechterung der Kraftübertragung im Bereich der Knotenblechverbindung verursacht wird. Der Stahldübel muß erheblich verformt werden, bevor er an der Wandung des aufgebohrten Knotenbleches anliegt (Abb. 2). Auch in der Zimmereitechnik werden aus ähnlichen Gründen tiefe Bohrungen mit kleinsten Mittenabweichungen besonders in Dachkonstruktionen gefordert.

## Bohrverfahren in der Holz- und Metallbearbeitung zur Realisierung großer Längen-Durchmesser-Verhältnisse

Der Wendelbohrer ist das in der Zimmereitechnik bisher fast ausschließlich verwendete Bohrwerkzeug. Sein wesentlicher Vorzug ist seine einfache Handhabung, die es ermöglicht, daß er auf einfachen, preiswerten und transportablen Bohrmaschinen eingesetzt werden kann. Des weiteren sind (abgesehen von der Entsorgung der Späne) keine zusätzlichen Hilfsmittel oder Aggregate zur Ver- oder Entsorgung nötig.

Diese Bohrer sind Massenartikel und dementsprechend in einem umfangreichen Sortiment zu günstigen Preisen erhältlich. Erhebliche Nachteile bestehen vor allem bei der Herstellung tiefer Bohrungen. Neben einer nur mäßigen Oberflächenqualität stellt vor allem der starke Mittenverlauf des Wendelbohrers den Anwender vor große Probleme.

In der Metallbearbeitung werden für die Herstellung von tiefen Bohrungen häufig die drei Tiefbohrverfahren [1] Einlippenbohren (ELB), BTA-Bohren und Ejektor-Bohren eingesetzt. Mit diesen Bearbeitungsverfahren können Bohrungen mit einem Längen-Durchmesser-Verhältnis von bis zu 250 gefertigt werden. Während das BTA- und das Ejektor-Bohrverfahren im allgemeinen nur auf Spezialmaschinen angewendet werden können, bietet das Einlippenbohrverfahren auch die Möglichkeit, auf konventionellen Maschinen, wie z.B. Bearbeitungszentren oder Drehmaschinen [2, 3, 4], eingesetzt zu werden. Beim Einlippenbohrverfahren wird der Kühlschmierstoff im Bohrschaft durch hohen Druck zur Bohrerschneide befördert (Abb. 3). Die Späne werden durch die Spannutt (Sicke) fast drucklos durch den mit hoher Geschwindigkeit abfließenden Kühlschmierstoff herausgespült. Der Einlippenbohrer ist ein einschneidiges Werkzeug mit Führungsleisten zur Abstützung der einseitig wirkenden Zerspankraftkomponenten. Die Bohrerführung beim Anbohren wird im allgemeinen durch eine Bohrbuchse gewährleistet.

Eine Anwendung des Verfahrensprin-

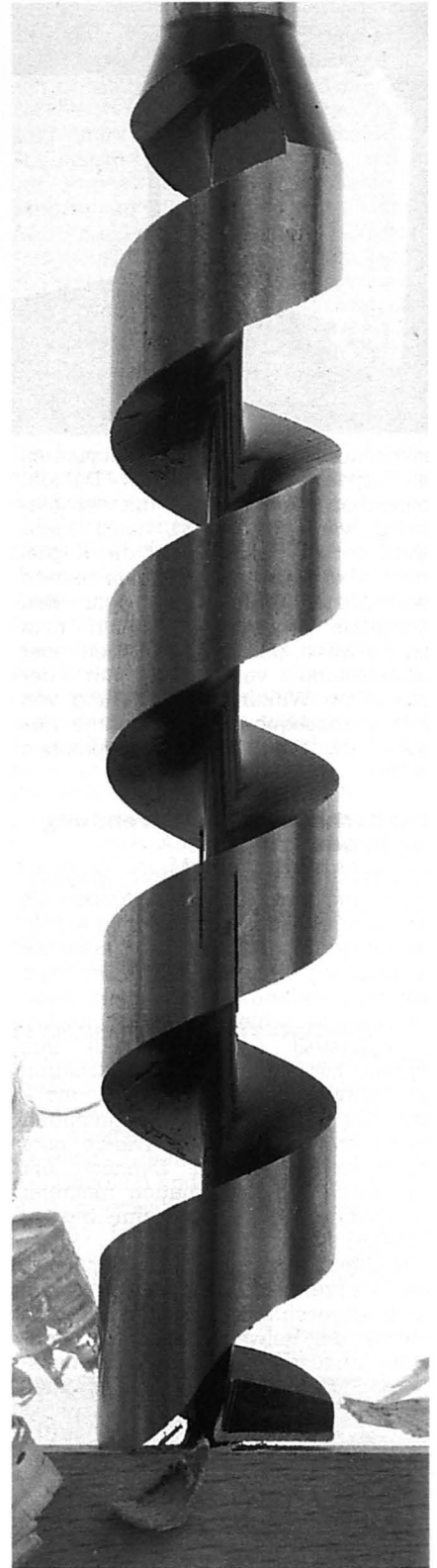


Abb. 1: Bohrwerkzeug (Wendelbohrer)

<sup>1)</sup> Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Uwe Heisel ist Leiter des Institutes für Werkzeugmaschinen (IfW) an der Universität Stuttgart mit dem Versuchsfeld für Holzbearbeitungsmaschinen. Dr.-Ing. habil. Johannes Tröger ist Leiter des Versuchsfeldes. Dipl.-Ing. Ralf Eichler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am selben Institut.

zips Einlippentieflochbohren im Bereich der Holzbearbeitung erfolgte erstmalig in den Jahren 1992/1993. Zum Einbringen von tiefen Bohrungen in Holz stellte die Firma Maffel auf der Ligna 1993 eine Abbundmaschine für die Zimmereitechnik vor, die u.a. mit einem Einlippenzwerkzeug ausgerüstet war.

Die Bohrspäne wurden nicht, wie in der Metallbearbeitung üblich, mit Bohrflüssigkeit, sondern mit Druckluft aus der Bohrung gefördert. Zu diesem Zweck wurde eigens ein Drehübertrager entwickelt, der die Einleitung der Druckluft aus dem ruhenden in das rotierende System ermöglichte.

## Problem des Mittenverlaufs und Lösungsansätze

Neben der unbefriedigenden Oberflächenqualität ist vor allem der große Mittenverlauf als Nachteil beim Einsatz von Wendelbohrern für tiefe Löcher in Holzkonstruktionen zu nennen. Hinzu kommt, daß sowohl der absolute Betrag der Abweichung als auch die Richtung, in die der Bohrer verläuft, rein zufällig und somit unvorhersehbar ist. Tendenziell kann nur der Einfluß von Ästen und der des Faserverlaufes im Holz beobachtet werden, wobei der Bohrer im Holz immer von härteren, hin zu

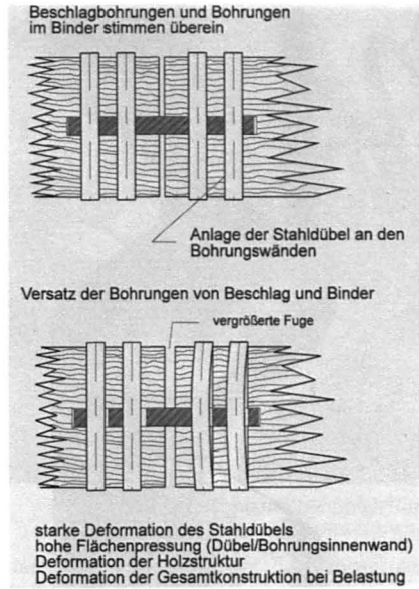


Abb. 2: Auswirkungen des Bohrungs-Mittenverlaufs bei Knotenblechverbindungen in Brettbindern

weicheren Bereichen verläuft. Er wird durch die sehr harten Aststücke ebenso verdrängt, wie er auch vom härteren Kern des Stammes hin zu weiter außen liegenden, weicheren Jahresringen wandert. Hölzer und somit auch Holzkonstruktionen wie beispielsweise

Leimbinder sind natürliche Werkstoffe mit inhomogenen und anisotropen Charakter. Für die Werkstoffeigenschaften von Naturholz hinsichtlich mechanischer Belastungen zeigt sich, daß abhängig von der Bearbeitungsrichtung und der momentanen Bearbeitungsstelle stark unterschiedliche Werkstoffeigenschaften und damit differierende Werkstoffkennwerte vorliegen.

Als weitere nicht konstante Größe kann, wie auch bei allen anderen Naturwerkstoffen, noch der Holzzustand durch die starke Beeinflussung von klimatischen Umgebungsbedingungen, vor allem der Feuchtigkeit, genannt werden. Allein der prozentuale Feuchtigkeitsgehalt im zu bearbeitenden Holz verändert dessen Eigenschaften erheblich. Da sich im Werkstoff Holz nur eine in weiten Grenzen geordnete Struktur erkennen läßt, bleibt es dem Zufall überlassen, inwiefern die beschriebenen Werkstoffeigenschaften den Mittenverlauf beim Bohren beeinflussen. Ein Grund für die sich in der Praxis zeigenden großen Mittenabweichungen ist die geringe Biegesteifigkeit aufgrund des großen Querschnittsflächenanteils der Spannuten der Wendelbohrer (Abb. 4). So ist beispielsweise die Durchbiegung des Wendelbohrers (freie

Länge  $l_{Au} = 550$  mm, Durchmesser  $d = 18$  mm) allein aufgrund des Eigengewichtes ca. 2,5 mm (entsprechend 0,45 mm Durchbiegung je 100 mm Bohrerlänge). Weiterhin weist das Werkzeug keine Führungselemente auf, und die Bohrerführung am Bohrgestell ist nur während der Anbohrphase wirksam.

Möglichkeiten zur Optimierung der Wendelbohrer hinsichtlich einer geringen Mittenabweichung liegen somit in der Erhöhung der Biegesteifigkeit und in der Verbesserung der Führbarkeit. Zur Erhöhung der Biegesteifigkeit wirkt sich eine Vergrößerung des Kerndurchmessers in der vierten Potenz und die Werkstoffwahl für das Werkzeug durch das E-Modul linear aus. Eine Kerndurchmesservergrößerung kann aber aufgrund des kleineren Spannutenraums und der damit verbundenen Probleme hinsichtlich der Spanabfuhr nur in kleinem Maße erfolgen.

In Anlehnung an Erkenntnisse aus der Metallbearbeitung wären hier kleine Verbesserungen durch eine geringere Steigung der Spannuten und entsprechende Formanpassungen möglich, jedoch ist durch die relativ geringe mögliche Erhöhung der Biegesteifigkeit keine wesentliche Verbesserung der Mittenabweichung zu erwarten. Ein herkömmlicher Wendelbohrer kann sich in der Bohrung selbst infolge seiner geringen Führungslänge nur unzureichend führen. Somit ist ein weiterer Ansatz für die Werkzeugoptimierung eine Bohrkopfkonstruktion mit Führungselementen.

Ein neuer Weg zur Reduzierung des Mittenverlaufs beim Bohren in Holzkonstruktionen ist die Verwendung von Einlippenbohrwerkzeugen. Am Bohrkopf des einschneidigen Einlippenbohrers sind Führungsleisten eingeschliffen, über die sich das Werkzeug an der Bohrungswand abstützt. Die mit diesem Verfahren erreichbaren hohen Bohrungsqualitäten, insbesondere der geringe Mittenverlauf und die Möglichkeit, dieses Verfahren mit vertretbarem Aufwand für neue Anwendungen zu nutzen, rechtfertigen das Ziel, Einlippenwerkzeuge in der Holzbearbeitung ein-

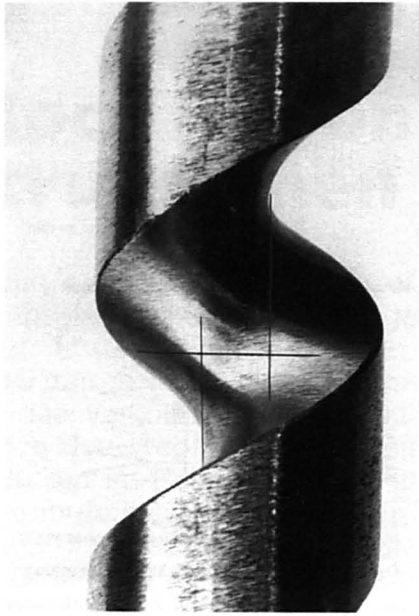


Abb. 4: Wendelbohrer mit großem Spannutenraum

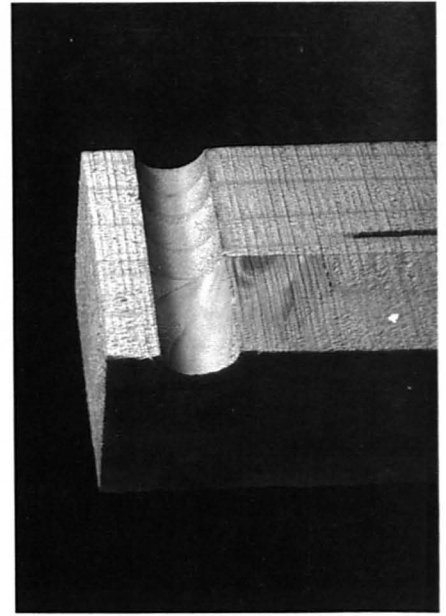


Abb. 5: Innenfläche beim Einlippenbohren

zusetzen. Da bei Bohrversuchen mit dem Einlippenverfahren gefertigten Bohrungen die Innenflächen einen optisch hervorragenden Eindruck vermittelten (Abb. 5), interessierte besonders die Frage, inwieweit die bei der Metallbearbeitung erzielten geringen Mittenabweichungen ( $< 0,01$  mm/100 mm) auch bei der Bearbeitung von Holz erreicht werden können.

### Versuchseinrichtung und Werkzeuge

Anstelle des Kühlschmierstoffes, der zu einer unvermeidbaren und dauerhaften Verschmutzung des Werkstoffes Holz führen würde, wurde für die am Institut durchgeführten Versuche Druckluft verwendet. Ein erster Test mit einem Einlippenwerkzeug führte zu einem sehr zuversichtlichen Ergebnis. Neben der allgemeinen Verfügbarkeit von

Druckluft spricht vor allem das Ausbleiben von Verschmutzungen des Werkstückes für dieses Medium. Dabei lassen sich genügend hohe Drücke einfach realisieren. Zusätzlich sorgt die Druckluft bei diesen Verfahren nebenbei für eine Kühlung der Bohrerwerkzeuge, wobei dieser Aspekt für die Holzbearbeitung nur von untergeordnetem Interesse ist.

Zur Vermeidung einer Verschmutzung der Arbeitsräume durch Holzspäne ist ebenso wie beim Einsatz von Wendelbohrern ein gewisser Aufwand zur Absaugung von Staub und Spänen erforderlich. Auch dieses Verfahren bedingt durch eine aufwendige Konstruktion der Bohreraufnahme, über die sowohl die Druckluft zuzuführen als auch Späne abzuführen sind. Es ist fraglich, ob diese Art von Späneabfuhr mittels Unterdruck bei Verwendung von

Abb. 3: Zuführung des Kühlschmierstoffes beim Einlippenbohrverfahren

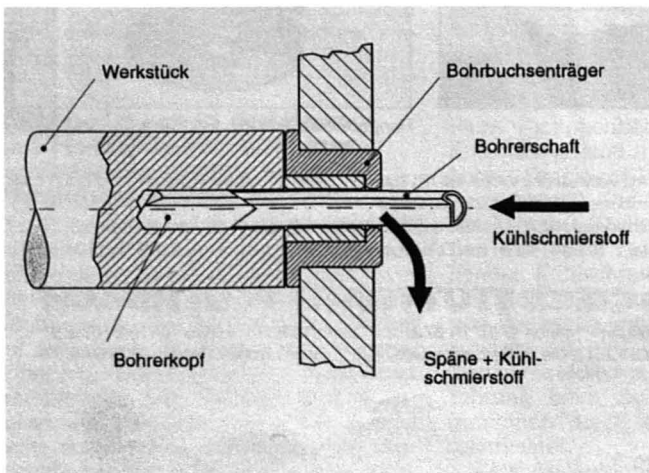
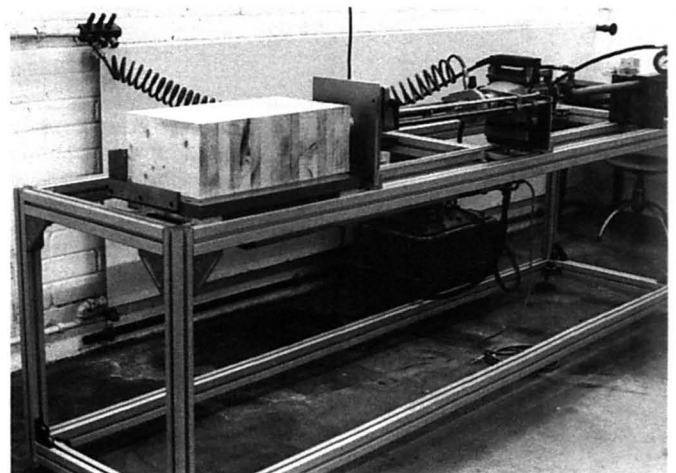
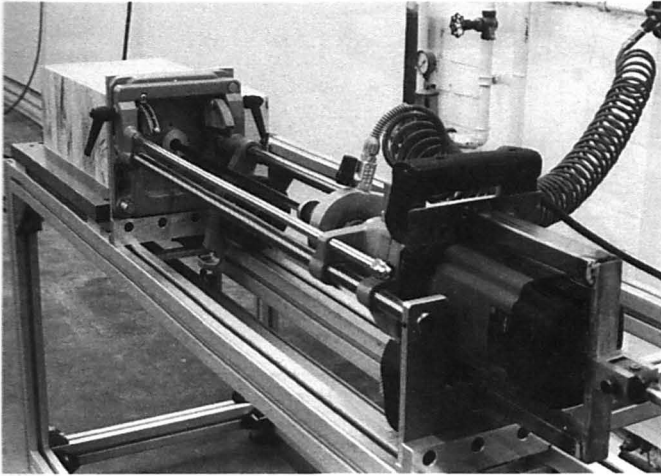


Abb. 6: Versuchseinrichtung zum Einlippen-Tieflochbohren in Holz





▲ Abb. 7: Zimmereibohrmaschine als Bohraggregat

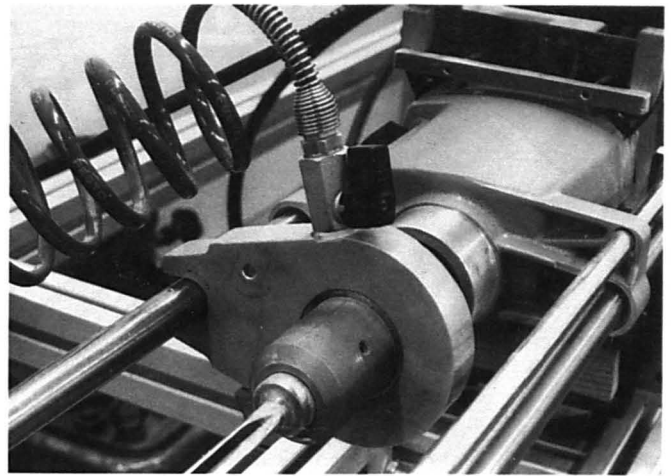


Abb. 8: Drehübertrager zur Druckluftzufuhr

Druckluft realisierbar wäre. Druckluft ist im Vergleich zum normalerweise verwendeten Kühlschmierstoff (Flüssigkeit) relativ stark kompressibel und kann Druckschwankungen damit wesentlich schneller ausgleichen. Dies wirkt aber gerade der gewünschten Entstehung eines möglichst hohen, örtlich begrenzten Unterdruckes entgegen. Hierzu war es erforderlich, eine entsprechende Versuchseinrichtung zu konzipieren und aufzubauen und zur Bestimmung

des Mittenverlaufes der Bohrungen ein geeignetes Meßverfahren zu wählen.

Die Versuchseinrichtung soll folgende Versuchsbedingungen ermöglichen:

Probenabmaße: ca.  $420 \times 200 \times 100$ ,  
Brettbinder lamelliert

Holzart: Fichte/Kiefer

Bohrwerkzeug: Einlippentieflochbohrer,  $D = 12 \text{ mm}$

Bohrlänge/Bohrerdurchmesser:  $L/D = 35$

Drehzahlbereich:  $n = 500 \text{ bis } 1400 \text{ min}^{-1}$   
Vorschubgeschwindigkeit:  $v_f = \text{stufenlos bis ca. } 400 \text{ mm/min}$

Für Voruntersuchungen wurden konventionelle Einlippenwerkzeuge, wie sie für die Zerspaltung von Metall verwendet werden, eingesetzt (Abb. 6 bis 10). Neben einem akzeptablen Preis des Bohrers sind für seinen Einsatz nur relativ geringe Anpassungsmaßnahmen notwendig. Diese betreffen das Führen

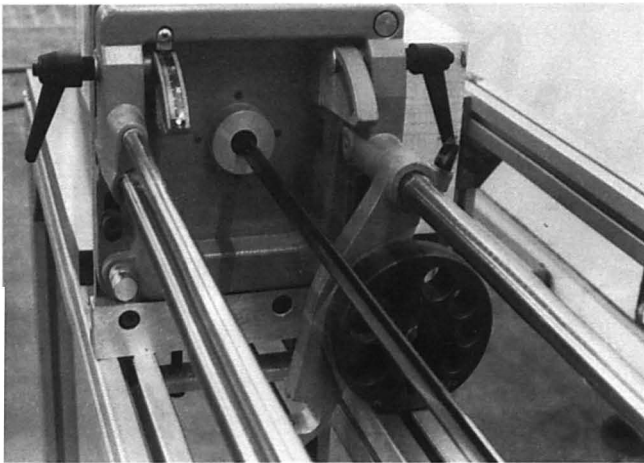


Abb. 9: Bohrbuchse

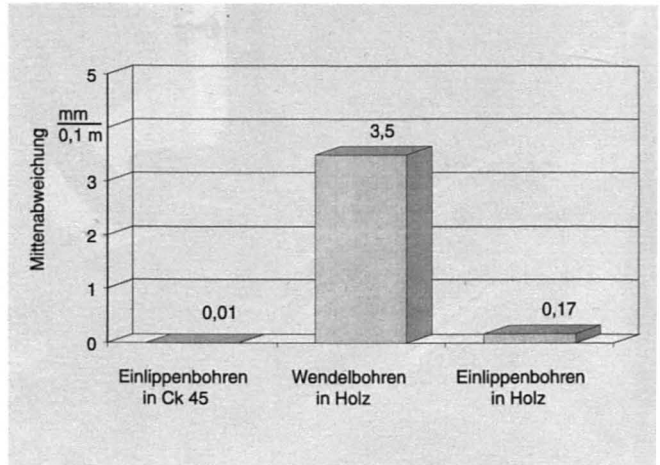


Abb. 11: Mittenabweichung verschiedener Bohrverfahren (Bildnachweis: IfW)

des Bohrers beim Anbohren und den benötigten Anschluß an die Druckluftversorgung. Der konventionelle Einlippenbohrer besteht aus einem Schaft aus 25 CrMo4 V, auf den ein Hartmetallkopf aufgelötet ist.

### Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse

Nach Justieren des Grundgestelles wird zuerst der Bohrer und anschließend die Bohrbuchse montiert. Beide Elemente werden mit Hilfe einer Maschinenwasserwaage in die richtige Orientierung zueinander gebracht. Das Werkstück wird in der Vorrichtung an den hinteren Anschlag mit den dafür vorgesehenen Spannmitteln geklemmt. Die exakte Ausrichtung des Werkstückes gegenüber der Werkzeugachse ist Voraussetzung zur Erzielung verwertbarer Meßergebnisse.

Da die Versuchseinrichtung keine Bezugsfläche aufweist und damit keine absoluten Messungen innerhalb eines Maschinenkoordinatensystems durchgeführt werden können, wird der Bohrungsmittenverlauf über einen Vergleich der Eintritts- und Austrittsbohrungsmatrix bestimmt.

Die ersten Bohrversuche zeigen das Potential, das in diesem Verfahren liegt. Der entwickelte Bohr-Versuchsstand hat die gestellten Anforderungen erfüllt. Für die Vorversuche wurde mit einer Schnittgeschwindigkeit von ca. 40 m/min. gebohrt und die Schneidengeometrie entsprach der, wie sie beim Metallbohren üblich ist. Die Werte für die Mittenabweichungen beim Einlippenbohren in Holz betragen lediglich etwa 5% der Werte, die beim Bohren mit Wendelbohrern erreicht werden (Abb. 11). Dieses Ergebnis ist durch Optimierungsmaßnahmen an den bestehenden Wendelbohrern nicht möglich.

Neben dem vergleichsweise geringen Mittenverlauf konnte eine hervorragende Bohroberfläche erreicht werden. Mit einem höheren Traganteil am Verbindungselement des montierten Leimbinders vergrößert sich die statische Tragfähigkeit, und eine Nacharbeit, die zur Schwächung der Konstruktion füh-

ren kann, wird vermieden. Präzisere Bohrungen ermöglichen im Bauwesen ebenso Einsparungen von Montagezeiten (Lohnkosten, Kosten für Baumaschinen usw.).

Weiterhin konnten Rundheitsabweichungen gemessen werden, die den erzielbaren Werten in der Metallbearbeitung entsprechen. Die in Metall erzielbare Mittenabweichung der Bohrung von etwa 0,1 mm/100 mm Bohrlänge wurde allerdings noch nicht erreicht. Hier sind aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche unter praxisnahen Bedingungen noch erhebliche Verbesserungen zu erwarten. Außerdem kann für das Einlippenwerkzeug aufgrund seines Aufbaues und seiner Nachschleifmöglichkeiten gegenüber herkömmlichen Wendelbohrern eine erheblich längere Gesamtstandzeit prognostiziert werden.

### Ausblick

Mit Hilfe der realisierten Tiefbohrereinrichtung können erstmalig systematische Tiefbohrversuche in Holz durchgeführt werden. Von Interesse ist der Einfluß von Bohrerform, Schneidengeometrie und Prozeßparametern wie Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit auf Mittenverlauf, Oberflächenqualität der Wandung sowie auf Vorschubkraft und Bohrmoment. Ungeklärt ist der Einfluß der Holzstruktur bzw. der Schnitttrichtung, wie sie Kivimaa [10] postulierte. Es wäre reiner Zufall, wenn mit der Schneidengeometrie aus der Metallbearbeitung schon die besten Ergebnisse erzielt worden wären. Des weiteren ist eine konstruktive Anpassung der Einlippen-Tiefbohrwerkzeuge an die Bohraufgaben im Holz erforderlich. Schließlich ist auch eine Weiterentwicklung des herkömmlichen preiswerten Wendelbohrers in Verbindung mit einem Tieflochbohrkopf denkbar, wobei die Wendel den Spänttransport übernimmt, um ein druckluftunabhängiges Bohrverfahren zu realisieren.

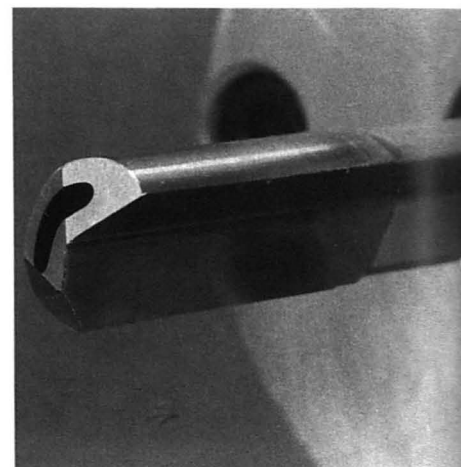
### Literatur

- [1] Heisel, U.: Stand der Technik beim Tiefbohren. In: VDI-Fachtagung

- Tiefbohren in Stuttgart, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991, S. 1 bis 10.  
 [2] Bornträger, H.: Tiefbohren auf Bearbeitungszentren. In: VDI-Fachtagung Tiefbohren in Stuttgart, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991, S. 57 bis 73.  
 [3] Engler, H.: Tiefbohren auf konventionellen Werkzeugmaschinen. In: VDI-Fachtagung Tiefbohren in Stuttgart, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991, S. 27 bis 55.  
 [4] Heisel, U.; Eichler, R.: Technologie beim Bohren kleinster Durchmesser. Begleitband zur Tagung über 20 Jahre Zerspanungsforschung, Dortmund, 9. bis 12. 6. 1992, S. 4-64 bis 4-71.  
 [5] Fink, P.: Präzisionsbohren mit Einlippenwerkzeugen. Dissertation Universität Stuttgart, 1977.  
 [6] Enderle, K.: Beeinflussung des Mittenverlaufs beim Einlippentiefbohren durch Pulsation des Kühlmittels. Vortragskurzfassung über

(Fortsetzung auf Seite 50)

Abb. 10: Spitze des Einlippenbohrers



- Fachgespräche zwischen Industrie und Hochschule, Universität Dortmund, 1990, S. 44 bis 50.
- [7] Pflegar, F.: Verbesserung der Bohrungsqualität beim Arbeiten mit Einlippentiefbohrern. Dissertation Universität Stuttgart, 1976.
- [8] Streicher, P.: Tiefbohren der Metalle. Dissertation Universität Stuttgart, 1975.
- [9] Stürenburg, H.O.: Zum Mittenverlauf beim Tiefbohren. Dissertation Universität Stuttgart, 1983.
- [10] Kivimaa, E.: Die Schnittkraft in der Holzbearbeitung. In: Holz als Roh- und Werkstoff. 10, 1952, S. 94 bis 108.

HOB-KENNZIFFER ..... **59**