

Uwe Heisel*

Bohr- und Fräsbearbeitung in flexiblen Fertigungssystemen:

Maschinenintegrierte Qualitätssicherung

Die in der Fertigungsmesstechnik entwickelten Mess- und Prüfmethoden sind künftig verstärkt für die Anwendung im hochautomatisierten Fertigungsprozess auszunutzen, zu verbessern und weiterzuentwickeln. Dabei werden moderne Techniken, wie die Laser- oder Videotechnik ebenso eine Rolle spielen, wie die aus dem Bereich der Produktionstechnik nicht mehr wegzudenkende Datentechnik. Die vielfältigen Möglichkeiten rechnergesteuerter flexibler Fertigungssysteme und künftig standardisierter Datenverbundsysteme stellen heute bereits die Basis für ein weites Entwicklungsfeld in der automatisierten und prozessintegrierten Fertigungsmesstechnik dar.

Ziel der Prüfung der in einem flexiblen Fertigungssystem (FFS) gefertigten Werkstücke ist die Sicherstellung vorgegebener Qualitätsmerkmale mit der Massgabe, kritische Abweichungen möglichst selbsttätig, das heisst ohne manuellen Eingriff korrigieren zu können. Dadurch soll der kontinuierliche Automatikbetrieb eines FFS aufrechterhalten werden. Für die komplexen Bedingungen der Bohr- und Fräsbearbeitung ist aufgrund der Prozessnähe und der damit verbundenen raschen Reaktionsmöglichkeit besonders die maschinenintegrierte Qualitätssicherung vorteilhaft.

Ist eine selbsttätige Korrektur innerhalb der Maschine nicht möglich, so muss gewährleistet sein, dass eine Ausschussproduktion, zum Beispiel durch automatisches Stillsetzen einer Bearbeitungsmaschine oder Sperren einzelner Werkzeuge, vermieden wird. Die Ursache der festzustellenden Abweichungen von der Sollqualität sind der Verschleiss und die Verformung der Werkzeuge während der Bearbeitung sowie der Wärmegang einzelner Maschinenelemente. NC-Programmfehler und Werkzeugeinstellfehler sind als Ausschussursachen auszuschliessen, da üblicherweise der automatischen Produktion

eine Einricht- beziehungsweise Probebearbeitung vorausgeht und diese Fehlermöglichkeiten ausschliesst.

Abweichungen von der Sollgeometrie lassen sich durch Messungen im Arbeitsraum der Maschine oder in einem Prüfbereich ermitteln, der räumlich möglichst nahe am Bearbeitungsprozess liegt.

Einsatz von Messtastern

Typisch für Messungen im Arbeitsraum von Bearbeitungszentren ist der Einsatz von Messtastern (Bild 1), die wie ein Werkzeug aus dem maschineneigenen Werkzeugmagazin in die Arbeitsspindel eingewechselt werden. Die bekannten am Markt

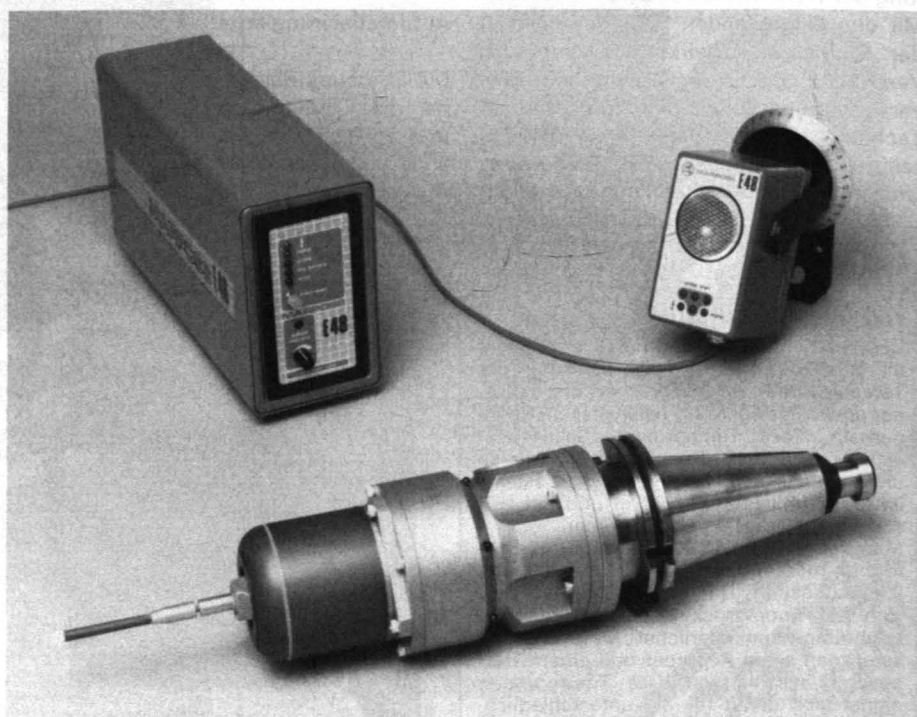


Bild 1 Schaltender Messtaster (System Marposs)

* Dr.-Ing. Uwe Heisel, Leiter technischer Vertrieb, Werner & Kolb Werkzeugmaschinen GmbH, Berlin BRD; Vortrag anlässlich der Tagung «Moderne Fertigungsmesstechnik» der Parpos GmbH, Stuttgart

erhältlichen Geräte sind überwiegend so ausgeführt, dass jeweils mit zwei Achsen in zwei Richtungen und mit einer dritten Achse in eine Richtung getastet werden kann. Die Taster verfügen über eine Energieversorgung mit Batterie oder aufladbarem Akku und arbeiten überwiegend als Mikroschalter. Die Signalübertragung erfolgt optisch über ein Infrarot-Strahlen-

Aber auch die mögliche Verschmutzung der anzutastenden Stelle durch Mikrospäne führt zu Messunsicherheiten. Nach den vorliegenden Erfahrungen muss man daher allgemein bei Bearbeitungszentren mit Messunsicherheiten um 10 µm rechnen, obwohl die Schaltungsgenauigkeit der bekannten Taster meistens mit ±1 µm angegeben wird. Massnahmen zur Ver-

messsystem arbeiten (Bild 2). Dabei ist jedoch die Signalübertragung in Form analoger Messsignale vom beweglichen Taster zum ortsfesten Empfänger sehr viel aufwendiger und daher auch teurer. Weiters häufiger kommen daher schaltende Taster zur Anwendung.

Standardmessungen, die über Unterprogrammtechnik der Maschinensteuerung eute üblicherweise bedienerfreundlich und einfach programmierbar sind, umfassen Durchmesser-, Rundheits- und Flächenabstandsmessungen, Stichmasskontrollen sowie Parallelitäts-, Ebenheits- und Winkligerprüfungen (Bild 3). Allenfalls erforderliche Korrekturen können selbsttätig über das NC-Programm durch Nullpunktverschiebungen, Zustellbewegungen oder Achstransformationen ausgeführt werden.

Um spezifische Fehler der Tastermessungen als Folge verschiedener Antastrichtungen auszuschliessen, wird häufig für die X-Y-Ebene nur mit einer einzigen, vorher kalibrierten Auslenkrichtung des Tasters und einem gesteuerten Spindelrichen gearbeitet. Dabei ist es durch die Kalibrierung möglich, den Tasterfehler durch eine entsprechende Konstante rechnerisch in der Maschinensteuerung zu kompensieren.

Die vorstehend erwähnte Gesamtmessunsicherheit lässt jedoch erkennen, dass der Einsatz von Messtastern keinesfalls die klassische Qualitätskontrolle ersetzen kann. Vielmehr steht hier im Mittelpunkt des Interesses, prozessnah durch Trendanalysen präventiv Schaden, zum Beispiel durch Ausschussproduktion im unüberwachten Automatikbetrieb, zu vermeiden. Dazu dienen auch die weiteren Einsatzmöglichkeiten dieser Messtaster. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang:

- Werkstückidentifikation durch Antasten von Referenzmerkmalen an den Werkstücken (ist allerdings wegen der Kollisionsgefahren nicht unproblematisch)
- Rohteillageerkennung vor der Bearbeitung, zum Beispiel zum Ausgleich von Gussaufmasschwankungen durch Nullpunktverschiebungen über die Steuerung oder auch Einspannfehlern der Werkstückrohlinge, die sich ebenfalls durch Nullpunktverschiebungen oder Achstransformationen korrigieren lassen (Bild 4)

Nicht unmittelbar Gegenstand der maschinenintegrierten Qualitätssicherung, aber auch ein Einsatzbereich für einwechselbare Messtaster ist die Überprüfung, ob beispielsweise eine entsprechende Kernbohrung für den nachfolgenden Gewindefschneidvorgang vorhanden ist, um den Bruch des Werkzeugs beziehungsweise Beschädigung des Werkstücks, der Vorrichtung oder der Maschinen zu vermeiden.

Einsatz von Messdornen in Verbindung mit nachstellbaren Bohrwerkzeugen

Für die genaue Messung von Bohrungs-

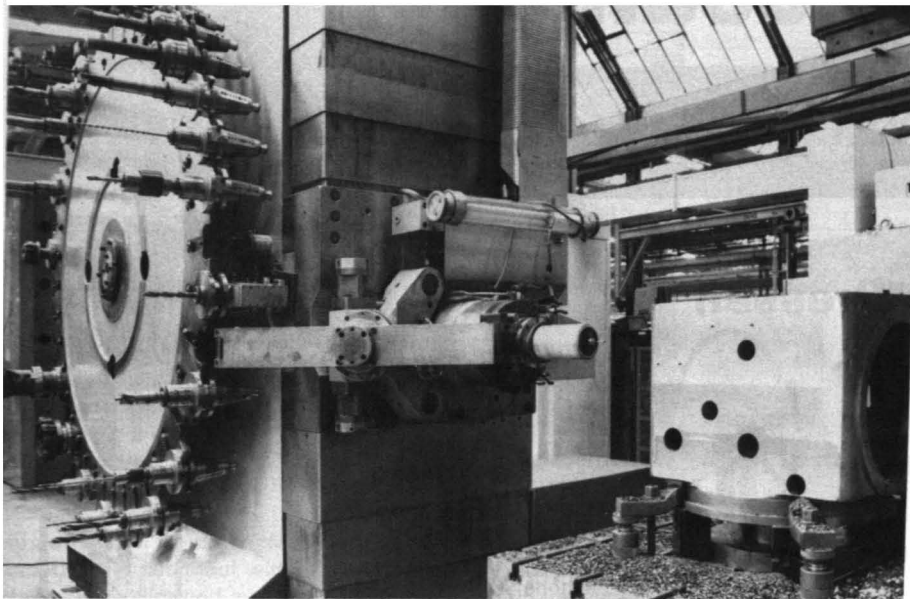


Bild 2 Einsatz eines 3D-Messtasters zur Werkstückvermessung

MESSAUFGABE	DARSTELLUNG	MESSAUFGABE	DARSTELLUNG			
ABSTAND IN KOORDINATENRICHTUNG		EBENE				
RÄUML. ABSTAND (LÄNGE)		RUNDHEIT				
		EBENHEIT				
MITTELPUNKT EINES KREISES		PARALLELITÄT				
DURCHMESSER EINES KREISES		WINKEL				
SCHNITTPUNKT		RECHTWINKLIGKEIT				
SCHNITTGERADE		RAUMPUNKT				
GERADE		BERÜCKSICHTIGUNG DER TASTERKUGEL				
		Keine Berücks.	+D	-D	+D/2	-D/2

Bild 3 Möglichkeiten der Messungen mit Tastern

bündel. Für die Massbestimmung werden die maschineneigenen Linearmesssysteme verwendet; der Schaltimpuls des Messtasters dient lediglich als Triggersignal.

Dadurch wird die Massbestimmung von Messunsicherheiten beeinflusst, deren Ursache nur zu einem geringen Teil von der Schaltunsicherheit des Tasters beeinflusst wird. Vielmehr spielen Maschinendeformationen und die Positioniergenauigkeit der Maschinenachsen sowie Einspannfehler des Werkzeugadapters durch Verschmutzung und Verspannung eine Rolle.

besserung der genannten Messunsicherheiten sind:

- Reinhaltung des Adapterkegels der Taster
- Gründliche Reinigung der Messflächen, zum Beispiel durch Spülen mit Kühlflüssigkeit oder durch Abblasen
- Kalibrieren der Masseinrichtung an einem Prüfnorm in der Nähe des Prüflings unmittelbar vor dem Start der Messzyklen

Für Präzisionsmessungen kleiner Abstände eignen sich absolut messende Messtaster, die unabhängig vom Maschinen-

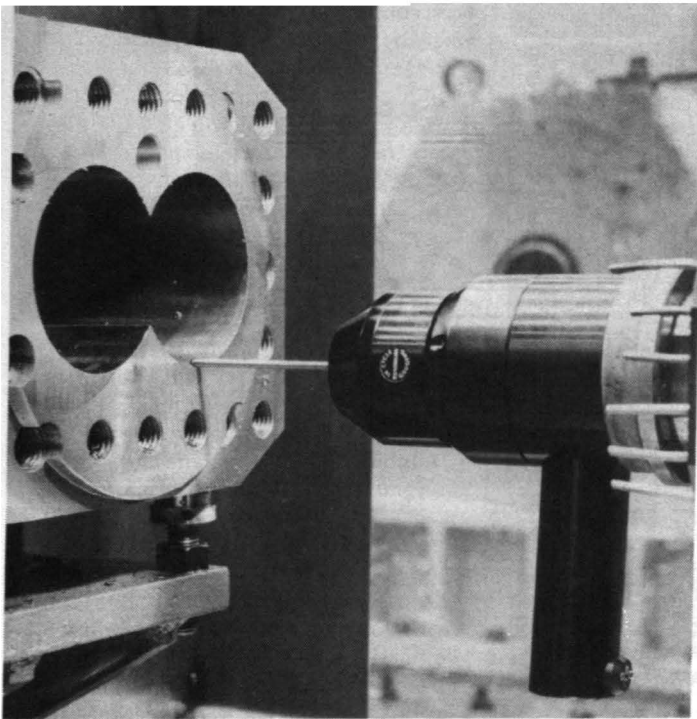


Bild 4 Beispiel für die Achstransformation in Polarkoordinaten (System Renishaw)



Bild 6 Verstellbare Bohrstangen

durchmessern kommen Messdorne zum Einsatz, die auch auf einem Werkzeugadapter befestigt und aus dem Magazin in die Arbeitsspindel der Maschine eingewechselt werden. Ihr besonderer Vorteil besteht in einer sehr geringen Messunsicherheit und darin, dass es sich um absolut messende Systeme handelt. Massabweichungen im Bereich von 1 bis 3 μm können erkannt werden.

Bekannt sind pneumatisch oder induktiv arbeitende Dorne. Pneumatisch arbeitende Systeme erfordern entsprechende konstruktive Gegebenheiten, um den Geber mit der Auswerteinrichtung dicht und sauber adaptieren zu können. Die Verhältnisse im Arbeitsraum der Maschinen mit Spänen und verschmutzter Kühlmittel-emulsion stehen dieser Forderung jedoch entgegen und erfordern einen erhöhten konstruktiven Aufwand. Vorteilhaft bei

pneumatischen Messdornen ist die Tatsache, dass die nach dem Düse-Prallplatten-Prinzip mit engem Spalt arbeitenden Geräte durch die Blasluftwirkung die Reinigung der Messfläche auf einfache Weise erlauben. Diese Möglichkeit existiert bei rein induktiv wirkenden Dornen auch durch zusätzliche Blasluftdüsen (Bild 5). Sie sind durch eine einfache und aufwendige Signalübertragung gekennzeichnet. Darüber hinaus ist ihr Messbereich meistens grösser als bei pneumatischen Messdornen.

Um Einspannfehler der Prüfdorne ausgleichen zu können, werden auch schwimmend gelagerte und selbst zentrierende Systeme eingesetzt. Die mit Hilfe der Prüfdorne feststellbare Massabweichung von Bohrungsdurchmessern lässt sich bei Untermassstendenz durch automatisch nachstellbare Bohrwertzeuge korrigieren. Mehrere konstruktive Lösungen sind bekannt

und bereits praktisch erprobt (Bild 6).

Dabei zeigen die Erfahrungen, dass trotz der hohen Messgenauigkeit der Dorne und der im Bereich von 2 bis 3 μm reproduzierbar möglichen Stellbewegung der Bohrwertzeuge nur in eingeschränktem Rahmen Bohrungen im Automatikbetrieb nachgearbeitet werden können. Die Gründe liegen vor allem in den Fehlerbandbreiten, die entstehen, wenn man das Bohrwertzeug nach dem Messdorn erneut wieder in die Spindel einwechselt, wofür häufig sogar auch die Maschinenachsen zu verfahren sind, sowie in der zerspannungstechnisch begründeten Verhaltensweise von Bohrstangen, wodurch das Anschnittverhalten bei sehr geringen Spannungstiefen nur schlecht reproduzierbar ist. Den erstgenannten und der Grössenordnung wegen gravierenden Mangel schliesst die in Bild 7 dargestellte Einrichtung weitgehend aus, da hier das Bohrwertzeug nicht auszuwechseln ist. Die Messung erfolgt bei eingespannter Bohrstange zwischen einem Festpunkt und der Schneide durch einen Fühler im Arbeitsraum, so dass sich vor allem der Freiflächenverschleiss der Schneide erfassen lässt. Auch sind Bohrstangen bekannt, die beispielsweise ein pneumatisches Stellelement und Messdüsen enthalten, um so von Bohrung zu Bohrung korrigieren zu können.

Eine andere Möglichkeit besteht zumindest bei durchgehenden, von gegenüberliegenden Seiten zugänglichen Bohrungen darin, den Messdorn in einer eigenen, besonders betätigten Vorrichtung genau gegenüber dem in der Spindel gespannten Bohrwertzeug anzuordnen. Für Messungen und Korrekturen brauchen so weder Messdorn noch Bohrwertzeug aus- und wieder eingewechselt zu werden. Un-

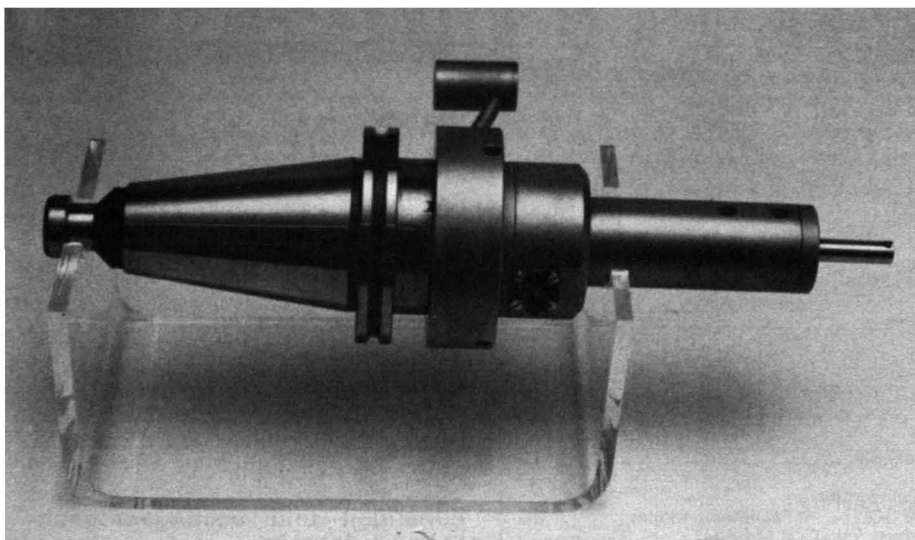


Bild 5 Induktiv arbeitender Messdorn (System Marposs)

günstig ist aber der hohe Aufwand und der meistens grosse Platzbedarf, der in den für flexible Fertigungssysteme typischerweise vollgekapselten Maschinen konstruktiv stets problematisch ist.

Auch soll nicht unerwähnt bleiben, dass wegen der ganz bestimmten Zuordnung zu einer Messaufgabe der wirtschaftliche Einsatz von Messdornen durch die geforderten Qualitätsmerkmale gerechtfertigt sein muss. Ihr Einsatzbereich beschränkt sich daher auf verhältnismässig hochwertige Werkstücke mit grossen Qualitätsanforderungen und verhältnismässig grossen Stückzahlen.

Einsatz prozessnaher Prüfeinrichtungen (systemintegrierte Qualitätssicherung)

Ein wesentlicher Gesichtspunkt für die maschinenintegrierte Qualitätssicherung liegt in der Tatsache begründet, dass man Abweichungen vor Ort erkennen und korrigieren kann. Dadurch ist aber der Nachteil in Kauf zu nehmen, dass die zum Messen in der Maschine erforderliche Zeit die Produktivität mindert. In zunehmendem Umfang werden daher ausserhalb der eigentlichen Bearbeitungsmaschinen prozessnahe Prüfeinrichtungen eingesetzt. Eine besondere Bedeutung haben dabei CNC-gesteuerte Koordinatenmessgeräte (KMG), die in den automatisierten Werkstückfluss integriert werden. Sie sind zunehmend unter der Bezeichnung «Werkstattdressmaschine» oder «Messroboter» auch für den Einsatz im Fertigungsbereich erhältlich (Bild 8).

Die freie Programmierbarkeit und Anpassungsfähigkeit dieser Messeinrichtungen erlaubt die Prüfung unterschiedlicher Teile in beliebiger Reihenfolge, wie es der Ablauf im Materialfluss des FFS erfordert. Die

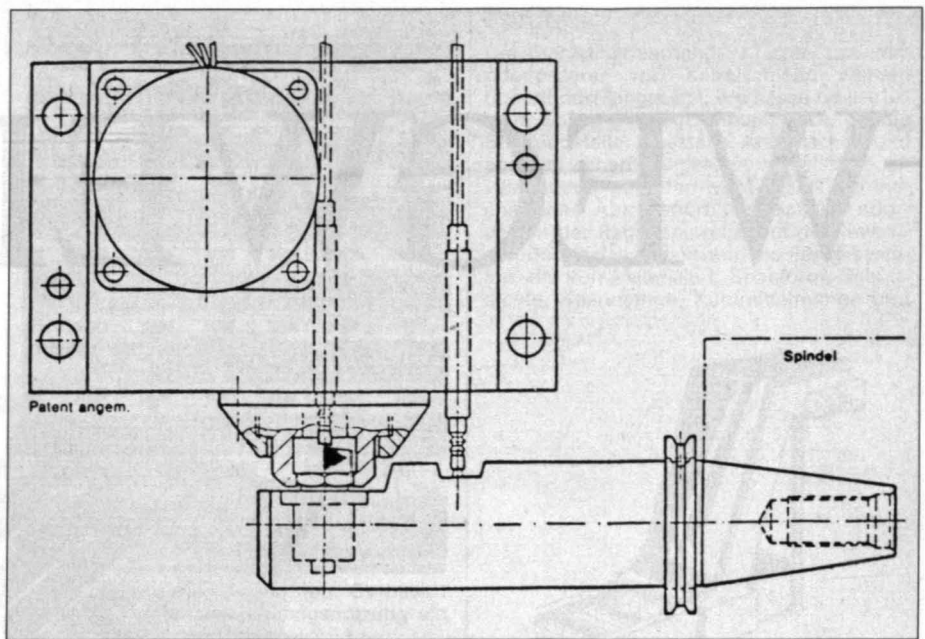


Bild 7 Nachstellbare Bohrstange mit Referenzmesspunkt

Verkettung von Werkzeugmaschinen und KMG ermöglicht die automatische Zuführung der auch in der Fertigung verwendeten Werkstückpaletten zum Koordinatenmessgerät und ihre automatische Fixierung in der Messposition.

Zur Verwaltung der Messprogramme sowie der Datenverarbeitung, Datenrückführung und Kommunikation mit der übergeordneten Systemsteuerung des flexiblen Fertigungssystems wird ein zentraler Qualitätssicherungsrechner eingesetzt. Neben der unmittelbaren werkstückbezogenen Gesamtauswertung und Anzeige von «Gut», «Ausschuss» oder «Kritisch» steht die vollständige statistische Analyse aller Messdaten zur Verfügung. Bei Toleranzüberschreitungen werden über einen

Datenverbund das entsprechende Teileprogramm gesperrt und unter Umständen auch werkzeugbezogene Aktionen ausgelöst. Die Reaktionszeiten auf mögliche Bearbeitungsfehler sind dabei aber immer höher als beim Messen direkt in der Bearbeitungsmaschine. Neben diesen universell einsetzbaren Geräten sind weitere prozessnahe Prüfeinrichtungen bekannt, die ebenfalls in den automatisierten Materialfluss eines flexiblen Fertigungssystems integriert sind, aber für spezifische Messaufgaben ausgelegt wurden. Bekannt sind Beispiele aus dem Getriebbau und der Gehäusefertigung, wobei hier meistens mit pneumatischen Messeinrichtungen gearbeitet wird.

SMM



Bild 8 Messroboter in einem flexiblen Fertigungssystem (Bilder: Werner & Kolb Werkzeugmaschinen GmbH, Berlin BRD/Schweiz AG, 8021 Zürich)