

Lebenszykluskostenreduzierung durch zustandsorientierte Instandhaltung

*Berend Denkena,
Peter Pruschek,
Heiko Noske,
Peter Blümel und
Jens Röbbing, Hannover*

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts „Maschinenzustandsbasierte Verfügbarkeitsdienstleistungen für hochproduktive Fertigungsanlagen – Make-it“ werden innovative Verfahren zur Verfügbarkeitsoptimierung sowie zur Prognose und Kontrolle der Lebenszykluskosten von Werkzeugmaschinen entwickelt. Die Grundlage hierfür bilden Methoden zur komponentenspezifischen Zustandsüberwachung und Restlebensdauerprognose sowie eine darauf aufbauende zustands- und kostenorientierte Instandhaltungsplanung.

Erfordernis der Lebenszykluskostenkontrolle

Die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen in Hochlohnländern wird maßgeblich durch die hohe Verfügbarkeit der Fertigungseinrichtungen und somit durch die zuverlässige Ausbringung qualitativ hochwertiger Produkte bestimmt. Durch die Optimierung von Lager- und Pufferbeständen sowie durch den Einsatz von Just-in-Time-Konzepten wird die Wirtschaftlichkeit hochproduktiver Fertigungsanlagen weiter erhöht. Fällt hierbei jedoch eine Maschine unvorhergesehen aus, kann dies den Stillstand der ganzen Produktionslinie zur Folge haben. Die Betreiber von Werkzeugmaschinen haben dieses Problem erkannt. Sie berücksichtigen im Rahmen von Investitionsentscheidungen die Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit von Werkzeugmaschinen und fordern darüber hinaus vom Maschinenhersteller eine Garantie der zu erwartenden Lebenszykluskosten. Durch die Forderung von garantierten Maximalwerten für die Summe aller Anschaffungs-, Betriebs-, Wartungs- und Entsorgungskosten (Total Cost of Ownership – TCO) bzw. Lebenszykluskostenangaben (Life Cycle Costs – LCC) seitens der Maschinenbetreiber wird das Wirtschaftlichkeitsrisiko zum Teil auf den Maschinenhersteller über-

tragen [1]. Somit ist dieser gezwungen, die Notwendigkeit, die Dauer und die Kosten von Servicemaßnahmen bei LCC/TCO-Angaben zu berücksichtigen [2]. Die Verfügbarkeitsicherung und die Kontrolle der Kostenentwicklung während des gesamten Anlagenlebenszyklus sind daher herstellerseitig zunehmend von existenzieller Bedeutung [3]. Um der Forderung nach garantierten Lebenszykluskosten nachzukommen, muss der Maschinenhersteller vor allem die durch Instandhaltungsmaßnahmen bedingten Folgekosten, die wesentlich von Ausprägungen des Maschinenbetriebs (z. B. Schichtmodelle, Wartungsintervalle und Bauteilspektrum) abhängen, besser im Voraus abschätzen können. Ein Schlüsselement hierbei ist die Entwicklung von robusten Methoden zur mitlaufenden Erfassung des Zustands der Maschinenkomponenten, mit deren Hilfe der Instandhaltungs- und Ersatzteilbedarf minimiert werden kann.

Ist-Situation der Maschinenüberwachung

Für eine kostenminimierte Instandhaltung ist es erforderlich, die Verschleißreserve der Maschinenbauteile möglichst vollständig auszunutzen und gleichzeitig die Gefahr von unvorhergesehenem Bauteilversagen und den daraus resultieren-

den Folgeschäden sowie Produktionsausfällen zu minimieren. Um das Ausfallrisiko und damit einen ungewünschten Anstieg der Lebenszykluskosten gering zu halten, werden neben Maschinenkomponenten mit erhöhter Qualität immer mehr sensorische Systeme eingesetzt, mit denen der Komponentenzustand überwacht werden kann. Mit Hilfe von modernen Prozess- und Maschinenzustandsüberwachungssystemen kann bisher lediglich das Auftreten eines unzulässigen Betriebsverhaltens während des Prozesses erkannt werden. Hieraus lässt sich heute zwar grundsätzlich ein Handlungsbedarf zur Entwicklung von Vorhersagemethoden ableiten, die sich zum Beispiel auf ein verschlissenes Werkzeug [4] oder eine beschädigte Spindel [5] beziehen. Es ist jedoch bislang nicht möglich, mit der verfügbaren Sensorik frühzeitig eine detaillierte Aussage über Fehlerursachen zu treffen, sodass erforderliche Instandhaltungsmaßnahmen termingerecht und unter Berücksichtigung der Produktionsrandbedingungen eingeplant werden können. Bisher gibt es lediglich wenige Ansätze zur Prognose von Komponentenausfällen oder unzulässigen Systemzuständen [6–8], die sich überwiegend im Forschungsstadium befinden. Lebensdauerberechnungen basieren demgegenüber in der Regel auf idealisierten Belastungsannahmen und

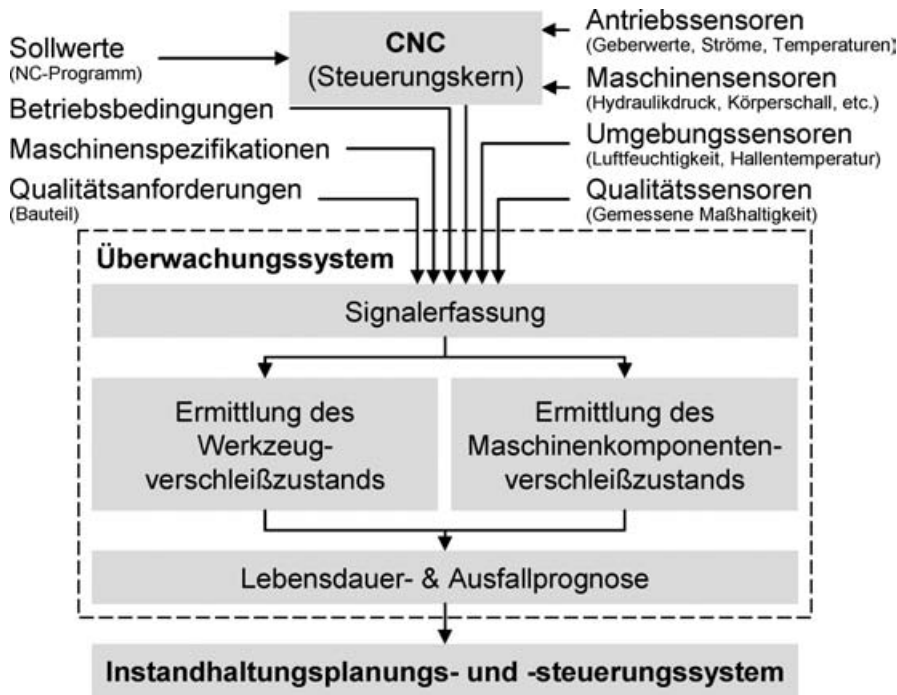


Bild 1. Gesamtstruktur aus Maschinensteuerung (CNC), Zustandsüberwachung und IPS-System

bieten nicht die Möglichkeit, die Nutzungshistorie einer Anlage zu berücksichtigen. Somit werden neben regelmäßigen Instandhaltungsarbeiten, die gemäß empirisch ermittelter Intervalle gesteuert werden, reaktive Inspektions- und Reparaturarbeiten notwendig, wenn Maschinen außerhalb der Nutzungsrichtlinien betrieben werden oder Komponenten auf Grund streuender Fertigungstoleranzen vor der vorgesehenen Restlebensdauer versagen. Die im Rahmen dieser reaktiven Maßnahmen auftretenden unvorhergesehenen Instandsetzungsleistungen und Produktionsausfälle erhöhen die Gesamtbetriebskosten erheblich. Es mangelt jedoch an einer neutralen Instanz, die es den Herstellern und Betreibern ermöglicht, die in einem TCO-Vertrag für den Betrieb festgelegten Randbedingungen während der Lebensdauer einer Maschine fort-schreitend zu überwachen. Auch stehen keine Methoden zur Verfügung, mit denen die Notwendigkeit von Service-maßnahmen zur sicheren Einhaltung des TCO-Vertrags bewertet werden kann, so-dass eine reaktive Maßnahme ggf. zu früh oder ohne Notwendigkeit durchgeführt wird. Darüber hinaus ist es gegenwärtig nicht möglich,

mit vertretbarem Aufwand Ursachenana-lysen für unzulässige Kostenentwicklungen durchzuführen. Daher ist das Ziel einer der Arbeiten im Rahmen von Make-it, eine unmanipulierbare Einheit zu schaffen, die unter Vermeidung aufwändiger manueller Fehlerforschungen im-stande ist, automatisiert die Verantwor-tung für TCO-Überschreitungen zuzu-ordnen.

■ Lösungsansätze

Zustandsüberwachung

Die Basis für die Entwicklung einer Zu-standsüberwachung bildet die Synthese der herkömmlichen Steuerungssignale mit den Signalen von Zusatzsensoren, die in bestimmte Maschinenkomponen-ten integriert sind, wodurch so genannte sensorische Maschinenkomponenten

entstehen. Zu den Steuerungssignalen zählen dabei beispielsweise (Bild 1):

- Positionen, Ströme und Temperaturen von Antrieben,
- Druckwerte von Hydraulik- und Pneu-matikaggregaten sowie
- Freigabe- und Diagnosesignale von Steuerungs-, Antriebsbus- und Feld-buskomponenten.

Da die Steuerungssignale in vielen Fäl-len nur einen allgemeinen Fehler anzei-gen und somit nur begrenzt auf die Feh-lerursache schließen lassen, werden im Rahmen des Make-it-Projekts sensori-sche Maschinenkomponenten entwik-kelt. Dabei wird zusätzlich der Einsatz kommerziell erhältlicher Systeme ge-prüft. Im Zuge der Eigenentwicklungen wird zum einen ein sensorisches Spann-system, mit dem Betriebszustände und prozessrelevante Informationen erkannt werden können, erarbeitet und zum an-deren auf ein auf dem Markt erhältliches sensorisches Spindelsystem mit Über-wachungsfunktion zurückgegriffen. Zusam-men mit einem im Projekt entwickelten Werkzeugsystem entsteht so ein innova-tives Werkzeug-Spindelsystem. Durch die Erweiterung der komponentenbasier-ten Datenerfassung um Systeme zur Da-tenvorauswertung ist es möglich, die Be-triebszustände der einzelnen Kompen-ten unmittelbar zu analysieren und Fehl-funktionen zuverlässig festzustellen. Mit den gegebenen Signalen wird eine Bi-bliothek von Algorithmen und Testse-quenzen (z.B. in Form von NC-Program-men) zur frühzeitigen Detektion von be-stimmten Fehlverhalten und zur Ein-grenzung der Schadensursache erstellt. Grundlage für diese Überwachungsalgo-rithmen bilden aus der Regelungstech-nik bekannte Verfahren zur Zustandsbe-obachtung. Mit dem Vergleich des realen Systems einer Maschinenkomponente mit Eigenschaftsmodellen kann eine „analytische Redundanz“ erreicht wer-den, mit der Fehler sofort ermittelt und

Tabelle 1. Verfahren zur Zustandsüberwachung im Projekt Make-it

Maschinenkomponente	Testsignal	Mögliche Auffälligkeit	Mögliche Ursache
Frässpindel	Konst. Drehzahl	Erhöhte Reibung	Verschleiß in Spindellager
Kugelgewindtrieb	Fahrt auf Festanschlag	Nachlassen der Muttersteifigkeit	Wälzkörperverschleiß
Zahnriemen	Drehzahlrauschen	Änderung des Frequenzganges	Zahnriemenverschleiß
Wälzfürungen	Konst. Geschwindigkeit	Erhöhte Schwingungen	Wälzkörperverschleiß
Kühlschmierstoffsystem	Konst. Druck	Reduzierter Durchfluss	Verstopfte Leitungen

Rb / 54490 © IFW

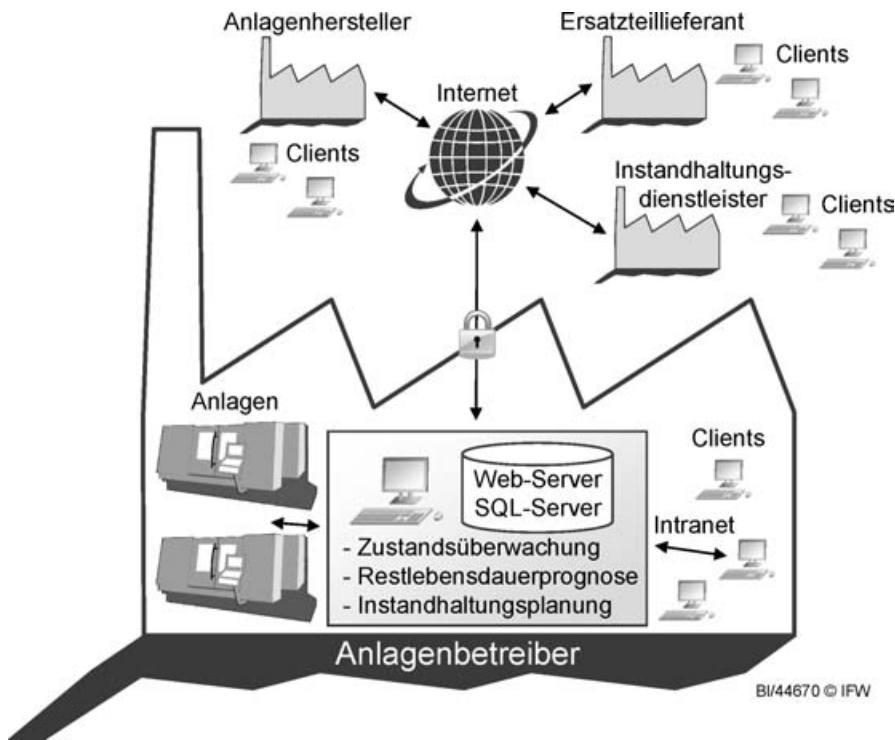


Bild 2. Webbasiertes IPS-System für die zustandsorientierte Instandhaltung

lokalisiert werden können. Einen Einblick über die im Rahmen von Make-it in Entwicklung befindlichen Verfahren bietet Tabelle 1. Die Zustandsüberwachung soll in Make-it schließlich zu einem Modul entwickelt werden, mit dem abschließend die Restlebensdauer der für die Überwachung relevanten Komponenten abgeschätzt werden soll. Die Ansätze zur Restlebensdauerprognose basieren zum einen auf dem Verlauf des Verschleißverhaltens, bei dem unter der Berücksichtigung zukünftiger Belastungssituationen das Verschleißverhalten extrapoliert und der Versagenszeitpunkt ermittelt werden kann. Zum anderen werden zur Restlebensdauerbestimmung Ausfallwahrscheinlichkeiten berechnet und an den erfassten Maschinenzustand angepasst.

Instandhaltungsplanung

Die Instandhaltung automatisierter Fertigungssysteme wird zunehmend nicht mehr alleine durch die Instandhaltungsabteilung des Maschinenbetreibers durchgeführt. Bei komplexen Störfällen unterstützen beispielsweise Service-Techniker des Maschinenherstellers die Instandsetzungsarbeiten oder bei einfachen Wartungstätigkeiten wie dem Nachfüllen von Schmierstoffen wird auf kostengünstige Service-Dienstleister zurückgegriffen [9]. Die Zuordnung der

Instandhaltungsmaßnahmen auf diese unterschiedlichen Instandhaltergruppen muss jedoch – auch beim Einsatz eines Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssystems (IPS-Systems) – manuell erfolgen. Für die Vergabe von einzelnen Aufträgen sind wichtige Informationen, wie z.B. die Qualifikationen der Instandhaltergruppe und deren Kosten, intuitiv durch den Bediener zu berücksichtigen. Gerade bei unvorhergesehen auftretenden Störungen kann eine systematische Auswahl zum Beispiel nach Qualifikation, Kosten, Kapazitäten oder Reaktionszeiten, nicht mehr sichergestellt werden, wodurch sowohl die Zeit bis zur Reparatur (Mean Time To Repair - MTTR) verlängert als auch die Instandhaltungskosten unnötig erhöht werden. Um diesen Missstand zu beheben, wird im Rahmen des Forschungsprojekts Make-it ein innovatives IPS-System entwickelt. Diesem dienen die Informationen der Prozess- und Maschinenüberwachung sowie die aktuelle Produktionsplanung als Eingangsgrößen zur Planung der Instandsetzungsmaßnahmen. Während mit Hilfe der Lebensdauerprognose technische Instandhaltungskriterien analysiert werden, berücksichtigt das IPS-System auch wirtschaftliche, organisatorische und logistische Randbedingungen. Die Projektpartner Gildemeister, Volkswagen und

das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen erstellen hierfür ein Kalkulationsmodell, das zur Beurteilung der Instandsetzungsmaßnahmen und Notlaufprozesse sowie der wirtschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher Instandsetzungsintervalle dient. Eine weitere Funktion des Modells besteht in der Bewertung der Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen durch unterschiedliche Instandhaltergruppen (Instandhaltung (IH) des Maschinenbetreibers, des Maschinenherstellers oder von IH-Dienstleistern). Dieses Modell bildet den Kern des IPS-Systems, das als webbasiertes System ausgeführt wird, um den unterschiedlichen Instandhaltergruppen eine Zusammenarbeit im Rahmen des Instandhaltungsplanungsprozesses zu ermöglichen. Das IPS-System wird dabei auf einem Server beim Anlagenhersteller betrieben, auf welchem auch die Zustandsdatenerfassung und die Restlebensdauerprognose ablaufen. Der Zugriff auf das IPS-System erfolgt hierbei entweder über das Intranet (beispielsweise durch die eigene Instandhaltungsabteilung) oder über eine verschlüsselte Verbindung via Internet, wobei die externen Firmen lediglich beschränkte Zugriffsrechte auf das System haben (Bild 2). Die so realisierte Kooperation der verschiedenen Instandhaltergruppen reduziert einerseits die Reaktionszeit für die Störungsbehebung deutlich und ermöglicht andererseits die Auswahl des kostenoptimalen Anbieters für die Instandhaltungsmaßnahmen und minimiert hierdurch die Instandhaltungskosten signifikant.

TCO-Fahrtenschreiber

Die Betriebs- bzw. die Prozesskosten stellen einen Großteil der TCO einer Werkzeugmaschine. Deswegen werden Produktionsanlagen immer häufiger auf Basis von TCO-Verträgen [10] eingekauft. Im Rahmen von TCO-Verträgen werden oftmals genaue Angaben der zu erwartenden Kosten und Ausfallraten für wichtige Bauteile sowie deren Betriebsmittelverbrauch (z.B. Energie, Kühlmittel) gefordert. Diese Angaben basieren auf Grund des hohen Innovationsgrads in der Werkzeugmaschinenindustrie oftmals auf Schätzungen bzw. Prognosen und setzen besondere Kenntnis über die jeweilige Maschine, ihrer Komponenten und des jeweiligen Bearbeitungsprozesses voraus. Kommt es während des Betrachtungszeitraums zu einer Verletzung

der aufgestellten Vereinbarung, so muss diese erkannt und gemeldet werden. Im Rahmen des Projekts Make-it wird von der ProWerk GmbH eine neutrale Instanz, ein „TCO-Fahrtenschreiber“, entwickelt werden, welcher die vereinbarten Bedingungen eines TCO-Vertrags überwacht. Der TCO-Fahrtenschreiber dient zur unmanipulierbaren, systematischen und automatischen Dokumentation der gegebenen Maschinenhistorie in einem geschützten Datenbereich. Im Rahmen regelmäßig stattfindender Lieferantengespräche zwischen Maschinenhersteller und -betreiber können diese Daten herangezogen werden. Der ProWerk-Fahrtenschreiber soll TCO-relevante Daten aus der Maschine, der Maschinensteuerung, dem IPS-System und ggf. aus anderen Systemen und Sensoren über den gesamten Maschinenlebenszyklus erfassen. Diese Daten sind u.a. werkstückproportional und geben Aufschluss über aufgetretene Belastungen, Störungen und Maschinenzustände. Darüber hinaus sollen werkrelevante Instandsetzungen, Wartungen und Bauteilwechsel erfasst werden. Zur transparenten Überwachung der TCO-Entwicklungen können aus den verfügbaren Daten Kenngrößen extrahiert werden, die dem Anlagenbetreiber und dem Maschinenhersteller permanent zur Verfügung stehen. Diese ermöglichen eine objektive Bewertung und Beobachtung festgelegter TCO-Bedingungen. Die Kenngrößen werden dabei so aufbereitet, dass die Ursachen für Maschinenfehler, die eine Verletzung des TCO-Vertrags nach sich ziehen, möglichst eindeutig bestimmt werden können. Im Laufe der Lebensdauer ist es ferner möglich, mittels Methoden des Data Mining bzw. der multivariaten Datenanalyse Muster u.a. wiederkehrender Ereignisse aufzudecken und zu vergleichen. Somit kann der ProWerk-Fahrtenschreiber zur Schadensklärung beitragen. Die genannten Auswertungen können auch maschinenübergreifend erfolgen und dazu genutzt werden, unerwünschte Kostentreiber zu identifizieren und diese durch Maßnahmen während des Betriebs (z.B. durch intensiviertere Wartung oder Schwachstellenbeseitigung) oder durch konstruktive Änderungen zukünftiger Maschinen zu eliminieren. Neben der strukturierten Datenhaltung und den Methoden zur Warnung bei einer Vertragsverletzung ist es geplant, dass der Fahrtenschreiber eine mitlaufende Kalkulation der regulä-



Bild 3. Neutraler TCO-Fahrtenschreiber zwischen WZM-Hersteller und -Nutzer

ren TCO bereitstellt (Bild 3). Hiermit wird die Wirtschaftlichkeitswirkung aller IH-Maßnahmen beobachtet. Auf diese Informationen wird vom IPS-System zurückgegriffen. Der Trend der TCO-Daten lässt sich als zusätzliches Kriterium in die IH-Planung integrieren. Neben dem Produktionsbereich wird sich die Planungsabteilung des Partners Volkswagen an diesen Arbeiten intensiv beteiligen.

■ Ausblick

Im weiteren Verlauf des Projekts wird der Aufbau eines Demonstrators vorgenommen. Dabei werden auf einer modifizierten vertikalen Drehmaschine des Typs CTV der Gildemeister Drehmaschinen GmbH die entwickelten Systeme prototypisch realisiert und validiert. Als Referenzprozess dient hierbei die Bearbeitung von Kugelgelenknaben, wie sie beim Projektpartner Volkswagen AG in der Serienproduktion durchgeführt wird. Zur Analyse des Verschleißverhaltens der Maschinenkomponenten und zur Validierung der Methoden zur Maschinenüberwachung werden Testzyklen auf der Maschine abgefahren sowie eine be-

grenzte Serienfertigung von Kugelgelenknaben auf der Maschine realisiert. Darüber hinaus wird momentan mit dem Simulationssystem Plant Simulation® das Modell einer realen Fertigungslinie zur Kugelgelenknabenherstellung, die sich bei der Firma Volkswagen im Einsatz befindet, erstellt. Mit Hilfe dieses Modells soll das mögliche Umfeld der Demonstratormaschine simuliert werden, um so die Auswirkungen der Maschine auf die Verfügbarkeit und Produktivität der Fertigungslinie analysieren zu können.

■ Literatur

- 1 Moser, S.: TCO: Maschinenpreis nur Spitze des Eisbergs. Produktion Nr. 31/32, 2006
- 2 Fleischer, J.; Nesges, D.: Sicherung operativer Verfügbarkeiten durch Maschinenlieferanten. ZWF 99 (2004) 12, S. 702-706
- 3 Schick, E.; Hoeck, H.: Neue Anforderungen an IPS-Systeme. FIR+ IAW - Unternehmen der Zukunft 2, S. 17-18, 2002
- 4 Lange, D.: Systeme und Strategien zur steuerungintegrierten Prozess- und Maschinenzustandsüberwachung. Seminar „Antriebstechnik für die Fertigung“, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Universität Hannover, 12.-13.05.2004, S. 21-35, 2004

Summary

In the context of the BMBF funded project “Maschinenzustandsbasierte Verfügbarkeitsdienstleistungen für hochproduktive Fertigungsanlagen - Make-it” innovative methods are developed for optimizing availability as well as for predicting and controlling lifecycle costs of machine tools. These methods are based on routines for component-specific condition monitoring and remaining lifetime prognosis as well as for condition and cost based maintenance planning.

- 5 Weck, M.; Metzke, M.: Sensoren und Aktoren verbessern Spindelbetrieb. *Industrieanzeiger* 124 (2002) Sonderausgabe zum AWK 02, S. 47
- 6 Brecher, C.: Diagnosesysteme für Werkzeugmaschinen. In: *Zuverlässigkeit von Produktionsmaschinen*. Seminar, Aachen, 9. Dezember 2004
- 7 Dietmair, A.; Kaufmann, M.; Walther, M.: Maschinendiagnose und das Ursache-Wirkungs-Prinzip. *wt Werkstattstechnik online* 96 (2006) 5, S. 281–286
- 8 Maier, D.; Nebel, S.; Rüdele, H.; Walther, M.; Oglodin, V.: Sensorlose vorausschauende Wartung von Vorschubantrieben an Werkzeugmaschinen – Gezielte vorbeugende Wartung durch automatisierte Zustandsbeobachtung. *VDI-Berichte Nr. 1982*, S. 235–240, 2007
- 9 Berger, J.: Verfügbarkeitsbasierte Kooperative Anlagen- und Instandhaltungsplanung. Dissertation, Fachbereich Maschinenbau, Universität Hannover, PZH-Verlag, Hannover, 2006
- 10 Oesterlin, T.: DaimlerChrysler – Total Cost of Ownership. In: *Tagungsband zur VDI Nachrichten-Konferenz „Life Cycle Costing“*, Augsburg, 2004
- 11 Projekthomepage Make-it: <http://www.make-it-project.com>, Stand Juli 2008

■ Die Autoren dieses Beitrags

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, geb. 1959, promovierte 1992 zum Dr.-Ing. an der Universität Hannover mit einer Dissertation zum Verschleiß keramischer Schneidstoffe bei instationärer Belastung. Anschließend arbeitete er 10 Jahre in der Werkzeugmaschinenindustrie, u. a. bei der Hüller Hille GmbH und Gildemeister Drehmaschinen GmbH, zuletzt als Leiter Entwicklung und Konstruktion. Zum 01.10. 2001 wurde er berufen als Direktor des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsgebiete sind spannende Fertigungsverfahren, Werkzeugmaschinen und deren Steuerungen sowie Fertigungsplanung und -organisation.

Dipl.-Ing. P. Pruscek, M.Eng. (Eur), geb. 1973, studierte Technische Kybernetik an der Universität Stuttgart und war dort 1999 bis 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen. Seit 1. Januar 2007 ist er für die Deckel-Maho-Gildemeister Gruppe tätig. Hier ist er mit der Koordination der Standardisierung und Vorausbildung von Antriebs-, Regelungs- und Steuerungsverfahren betraut.

Dr.-Ing. Heiko Noske, geb. 1960, promovierte am Institut für Fertigungstechnik und Werk-

zeugmaschinen (IFW) der Universität Hannover. Nach mehrjähriger leitender Industrietätigkeit ist er heute Geschäftsführer der Pro Werk GmbH in der Wedemark, Hannover. Pro Werk ist spezialisiert auf die gezielte Senkung von Produktherstellkosten in der Automobilindustrie und im Maschinen- und Anlagenbau.

Dipl.-Ing. (FH) P. Blümel, geb. 1977, ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Fertigungsplanung und -organisation am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW). Sein Tätigkeitsfeld umfasst die Instandhaltungsplanung und Verfügbarkeitsverbesserung.

Dipl.-Ing. (FH) J. Röbbing, geb. 1983, ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Maschinen und Steuerungen am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW). Sein Tätigkeitsfeld umfasst die Prozess- und Maschinenüberwachung.

Den Beitrag als PDF finden Sie unter:
www.zwf-online.de
 Dokumentennummer: ZW110092