

Werkzeugmaschinen, Kostenrechnung, Sensoren

Können teure Werkzeugmaschinen auf längere Sicht günstiger sein? *

Entwicklung von Werkzeugmaschinen unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten

B. Denkena, H.-C. Möhring, A. Harms, S. Vogeler, H. Noske



Projektträger
Forschungszentrum
Karlsruhe (PTKA)

Inhalt Investitionen in neue Werkzeugmaschinen werden zukünftig immer häufiger unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten getätigt. Im Rahmen des Projektes LoeWe (Lebenszyklusorientierte Werkzeugmaschine) [1] wird ein lebenszyklusorientierter Maschinenprototyp aufgebaut. Es wird untersucht, wie Lebenszykluskosten dauerhaft gesenkt werden können. Hierzu wird der technische Zustand relevanter Baugruppen der Maschine überwacht und bewertet. Eine Kalkulationssoftware überführt die analysierten Daten in wirtschaftliche Kenngrößen, die dem Anwender als Entscheidungshilfe bei Investitionen oder Maschinenumrüstungen dienen.

May expensive machine tools be cheaper in the long term – Development of machine tools in consideration of life cycle costs

Abstract Equipment investments for new machine tools will be made more and more in consideration of life cycle costs in the future. In a German research project „LoeWe – life cycle orientated machine tool“ [1], a new machine tool prototype is being built with the aim to control and to minimize life cycle costs. For this, the technical condition of major machine tool components is monitored and evaluated. A software tool converts this data into economical factors in order to serve as decision support when a reconfiguration or new investment is taken into consideration by the machine tool user. This research project is funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) within the Framework Concept “Research for Tomorrow’s Production” and managed by the Project Management Agency Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA), Production and Manufacturing Technologies Division (PFT).

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena,
Dipl.-Ing. Hans-Christian Möhring, Dipl.-Ing. Alwin Harms
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)
Produktionstechnisches Zentrum Hannover (PZH)
Schönebecker Allee 2, D-30823 Garbsen
Tel. +49 (0)511 / 762 5997
E-Mail: harms@ifw.uni-hannover.de
Internet: www.projekt-loewe.de

Dipl.-Ing. Stefan Vogeler
Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA)
Produktionstechnisches Zentrum Hannover (PZH)
Schönebecker Allee 2, D-30823 Garbsen

Dr.-Ing. Heiko Noske
Ingenieurbüro
33605 Bielefeld

Info

* Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen „reviewten“ Fachaufsatz: Autoren-unabhängig von Experten auf diesem Fachgebiet wissenschaftlich begutachtet und freigegeben.

1 Bedarfssituation

Produzierende Unternehmen als Endanwender von Werkzeugmaschinen müssen sich flexibel und schnell den Marktanforderungen anpassen, um hochwertige Produkte mit wachsender Variantenvielfalt und sinkenden Losgrößen zu gleich bleibenden oder sinkenden Preisen bereitstellen zu können. Um die Produktivität, Flexibilität und Fertigungsqualität zu steigern, werden zunehmend multifunktionale Werkzeugmaschinen eingesetzt, die einerseits die Fertigung unterschiedlichster Werkstücke und andererseits die Komplettbearbeitung komplizierter Teile ermöglichen. Leistungsfähigkeit und Funktionsumfang der Maschinen drücken sich dabei in installierter Achszahl, Antriebsleistung und der Anzahl der integrierten Werkzeuge und Bearbeitungsverfahren aus. Dadurch kommen jedoch teilweise überqualifizierte Maschinen zum Einsatz, die dem Anwender mehr Funktionen und eine höhere Anpassungsfähigkeit bieten, als von ihm aktuell benötigt wird. Hinsichtlich einer werkstückbezogenen Nutzungsperiode ist diese Vorgehensweise unwirtschaftlich. Besonders kleine und mittelgroße Unternehmen der Zulieferbranche, als wichtige Kundengruppe für Werkzeugmaschinenhersteller, stellt diese Entwicklung vor Probleme: Auf der einen Seite wirtschaften sie mit einer geringen und teilweise unsicheren Auftragsreichweite. Auf der anderen Seite kennt der Unternehmer weder sein zukünftiges Fertigungsspektrum noch kann er die dafür notwendigen Fertigungsmittel besonders genau abschätzen. Aus diesem Grund strebt er eine Investition in Fertigungsmittel an, die universell einsetzbar sind oder durch geringe Zusatzkosten an zukünftige Fertigungsanforderungen angepasst werden können.

Ziel des vom BMBF innerhalb des Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ geförderten Projekts „Lebenszyklusorientierte Werkzeugmaschine“ (LoeWe), ist die deutliche Senkung der Lebenszykluskosten von Werkzeugmaschinen. Um dieses Ziel zu erreichen, soll eine Verlängerung der wirtschaftlichen Lebensdauer durch die Steigerung der Anpassungsfähigkeit an neue Fertigungsaufgaben und Technologien erzielt werden. Hierzu wird von einem Konsortium – bestehend aus sieben Unternehmen der Werkzeugmaschinenbranche sowie zwei Universitätsinstituten – eine modulare, anpassungsfähige Werkzeugmaschine mit integrierter Lebenszykluskostenüberwachung entwickelt.

2 Fehlende Kostentransparenz bei neuen Fertigungsmitteln

Häufig besteht ein Problem derzeit darin, die technischen Eigenschaften sowie den Zustand von Werkzeugmaschinen einheitlich in Wirtschaftlichkeitsdaten beziehungsweise in Kosten auszudrücken. Während eine große Zahl technischer Parameter unmittelbaren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit

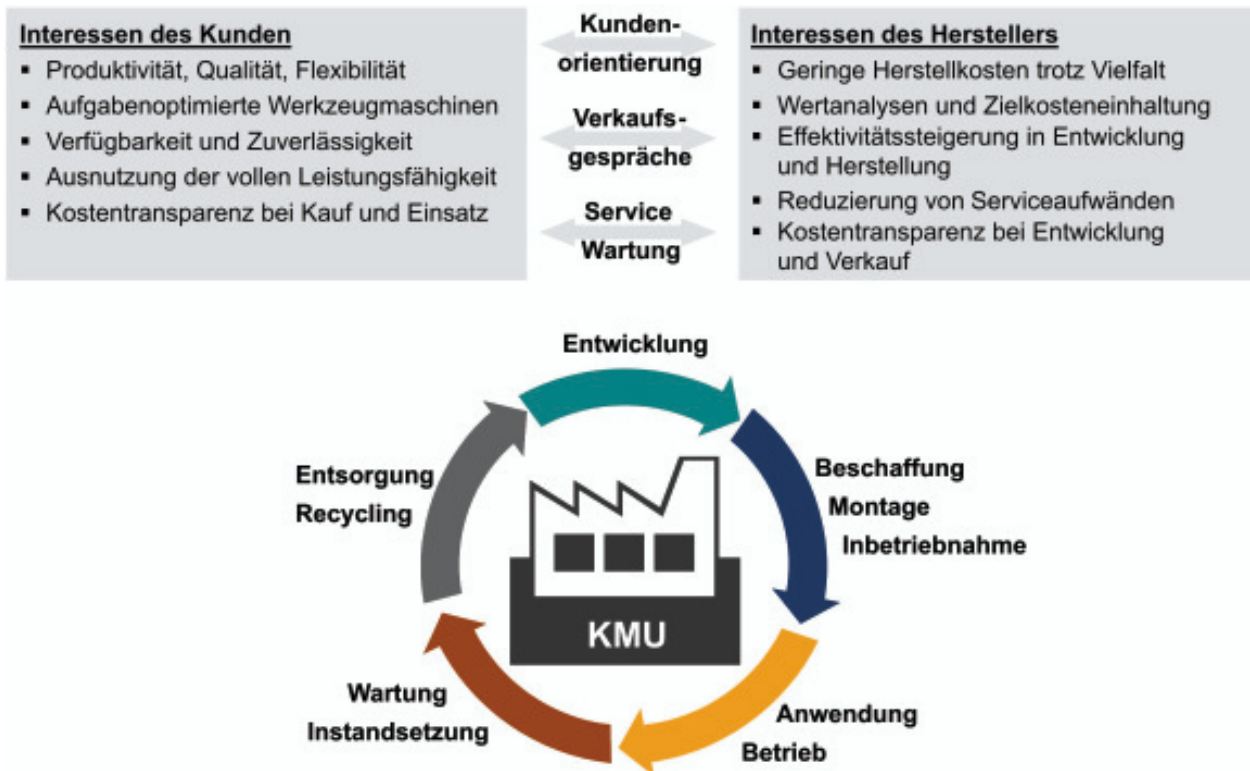


Bild 1. Bedarfssituation der Kunden- und der Hersteller-Interessen

IFW

einer Werkzeugmaschine hat (Antriebsleistung, Genauigkeit von Führungselementen, Verfügbarkeit, Verschleißintervalle und so weiter), existieren bisher nur wenige Ansätze, diese Einflüsse in Kostenform abzubilden und einer Wirtschaftlichkeitsberechnung zugänglich zu machen. Eine solche Berechnung könnte dem Anwender jedoch schon beim Beschaffen der Maschine eine Kostentransparenz für die tatsächlich im Betrieb anfallenden Kosten liefern. Dass diese Kostentransparenz bei vielen Firmen nicht vorhanden ist, wenn es um die Investitionsentscheidung einer neuen Werkzeugmaschine geht, wurde im Rahmen einer Kundenbefragung zu Projektbeginn ermittelt. Dabei wurden typische Anwender von Drehmaschinen und Dreh-Fräszentren aus unterschiedlichen Branchen unter anderem darüber befragt, auf welcher Grundlage die Entscheidung über die Investition in eine neue Werkzeugmaschine getroffen wird. Für alle Befragten haben Qualität und Technologie die höchste Priorität. Ausschlaggebend für die Kaufentscheidung sind jedoch nach wie vor die Investitionskosten, die bei der Beschaffung einer Maschine oder Anlage anfallen.

Die tatsächlichen Lebenszykluskosten, die eine Maschine im Laufe ihres Betriebs verursacht, dienen dagegen nur selten als Entscheidungsgrundlage, da über die Gesamtlebensdauer auftretende Kosten bisher sowohl für Maschinenhersteller als auch für Anwender kaum abschätzbar sind (Bild 1).

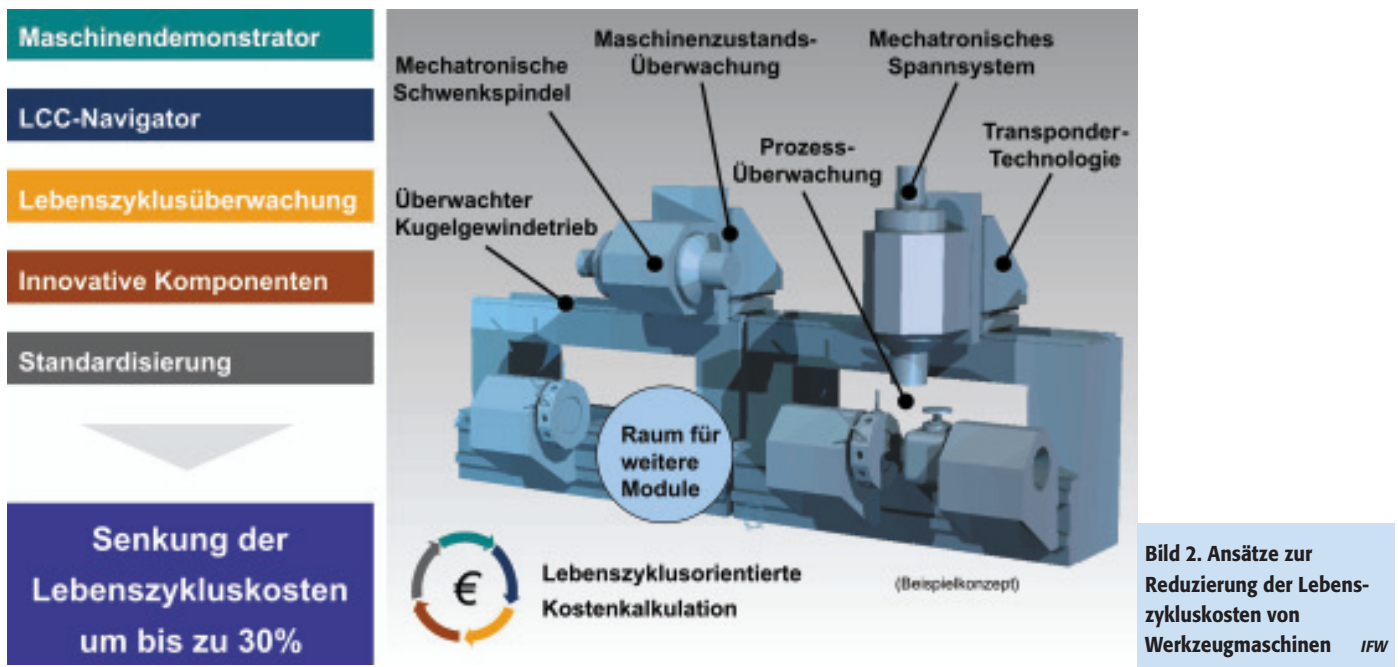
Sind die reinen Investitionskosten kaufentscheidend, stehen die Maschinenhersteller unter einem hohen Kostendruck und stellen ihre Maschinen daher häufig mit kostengünstigen Komponenten aus, die jedoch hinsichtlich der Langzeitstabilität und der Präzision nicht immer das Optimum darstellen. Dieses hat zur Folge, dass die Lebenszykluskosten dieser Maschinen – bedingt durch Maschinenausfälle und Serviceeinsätze – den Kaufpreis zum Teil schon nach kurzer Zeit deutlich

überschreiten können [2]. Höhere Instandhaltungskosten verzehren dadurch die Ersparnis bei den Investitionskosten. Bei den Lebenszykluskostenbetrachtungen spielt die technische Verfügbarkeit der Maschinen und Anlagen eine zentrale Rolle für die Maschinenhersteller und den Anwender, da die Fehlerhäufigkeit MTBF (Mean Time Between Failure), die Dauer der Reparatur MTTR (Mean Time To Repair) und die Ersatzteilkosten im Wesentlichen die Lebenszykluskosten bestimmen.

Bisher gehen jedoch nur einige größere Firmen dazu über, nicht mehr nur die Investitionskosten, sondern auch die gesamten Lebenszykluskosten als Kaufentscheidungsgrundlage heranzuziehen. Dazu lassen sie sich von den Maschinenherstellern umfassende Garantien über die während der gesamten Maschinenlaufzeit anfallenden Kosten und -leistungen geben. Die Maschinenhersteller werden damit schon bei der Angebotsabgabe verpflichtet, Zuverlässigkeitskennwerte zu prognostizieren und zu garantieren [3].

Das Überschreiten der vorhergesagten Zuverlässigkeitskennwerte im Betrieb der Werkzeugmaschine während der Vertragslaufzeit birgt das Risiko von Vertragsstrafen. Zu pessimistische Abschätzungen seitens des Herstellers, also eine zu hoch angesetzte Ausfallwahrscheinlichkeit, verschlechtern die Position des Herstellers bei der Angebotsabgabe, sodass es zu einer Investitionsentscheidung gegen den Anbieter kommen kann.

Die relevanten Kostendaten sollten also nach Möglichkeit so genau wie möglich ermittelt werden. Die in diesem Projekt zu entwickelnden Systeme liefern einen Beitrag dazu, den Maschinenherstellern und auch den Anwendern genauere Informationen über Lebenszykluskosten zu liefern und sie sollen es ermöglichen, eine ungefähre Restlaufzeit der Maschine vor einem fälligen Serviceeinsatz zu bestimmen.



3 Lösungsansätze zum Verringern der Lebenszykluskosten

Innerhalb des LoeWe-Projekts werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, um die Lebenszykluskosten von Werkzeugmaschinen zu verringern. In **Bild 2** sind die wesentlichen Ziele des Forschungsprojekts zusammengefasst. Um die innerhalb des Projekts zu erarbeitenden Strategien an einem Demonstrator zu erproben, wird eine Vertikaldrehmaschine aus innovativen Einzelkomponenten zur Komplettbearbeitung komplexer Werkstücke am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) aufgebaut. Der beteiligte Maschinenhersteller (Gildemeister Drehmaschinen GmbH) verfolgt ein modulares Konzept, bei dem ein Basismaschinentyp in unterschiedlichen Varianten (Anzahl der Spindeln, Spindelleistung, Werkzeugwechsler/Werkzeugspindel und so weiter) mit möglichst vielen standardisierten Komponenten aufgebaut werden kann. Die Maschine bietet Raum für die Integration weiterer Funktionsmodule, die über die klassische Dreh- und Fräsbearbeitung hinausgehen.

Dadurch wird es dem Maschinenanwender mit relativ geringem Aufwand ermöglicht, neue Funktionsmodule in eine Basismaschine zu integrieren und somit die Maschine an ein erweitertes Bauteilspektrum anzupassen. Eine nachträgliche Integration von Funktionsmodulen in die Maschine erfordert es, die entsprechenden mechanischen und elektrischen Schnittstellen schon bei der Fertigung der Maschine mit vorzusehen. Das Vorhandensein dieser Schnittstellen verursacht erhöhte Kosten, die jedoch durch die erhöhte Einsatzflexibilität und die Maximierung der wirtschaftlich sinnvollen Lebensdauer dieser Werkzeugmaschine gerechtfertigt werden können.

3.1 Lebenszykluskosten (LCC)-Navigator

Die Betrachtung von Lebenszykluskosten wird in Zukunft bei der Kaufentscheidung von Werkzeugmaschinen enorm an Bedeutung gewinnen [4]. Heute steht noch für viele Käufer der Anschaffungspreis einer Werkzeugmaschine bei der Be-

schaffung neuer Fertigungsanlagen im Vordergrund. Aber immer mehr Kunden schließen eine Kalkulation der gesamten, über den Lebenszyklus einer Werkzeugmaschine anfallenden Kosten bei der Kaufentscheidung mit ein. DaimlerChrysler leistet mit dem konzerninternen Verfahren Total-Cost-of-Ownership (TCO) eine Vorreiterrolle. Andere Großabnehmer von Werkzeugmaschinen werden nachziehen.

In den Entwicklungsabteilungen von Werkzeugmaschinenherstellern hat bislang die Optimierung der Kosten und somit das Erzielen eines möglichst günstigen Marktpreises des Produkts höchste Priorität. Lebenszykluskostenbetrachtungen werden erst angestellt, wenn die Produktentwicklung bereits abgeschlossen ist. Diese Vorgehensweise liefert aus Anwendersicht ein nur eingeschränktes, da kurzfristiges Kostenminimum. Sind zum Beispiel bei einer neuartigen Maschinenspindel, die über den gesamten Lebenszyklus wartungsfrei arbeitet, die Herstellkosten höher als bei einer herkömmlichen Spindel, so wird erst bei einer Betrachtung der Lebenszykluskosten deutlich, dass der Einsatz der wartungsfreien Spindel aus Kundensicht unter Umständen wirtschaftlicher ist – und somit der Einsatz dieser Komponente in der neuen Werkzeugmaschine durchaus sinnvoll.

Ziel des LoeWe-Teilprojekts LCC-Navigator (LCC: Life Cycle Cost) ist die kontinuierliche Analyse und Optimierung der Gesamtlebenszykluskosten einer Werkzeugmaschine während des Entwicklungsprozesses. Hierzu werden Kalkulationswerkzeuge und Berechnungsverfahren für die Online-Hochrechnung der Lebenszykluskosten entwickelt und angewendet. Dazu wird zunächst eine Analyse hinsichtlich lebenszyklusrelevanter Kostenfaktoren bei verschiedenen Herstellern von Maschinenkomponenten und Werkzeugmaschinen durchgeführt. LCC-relevante Informationen (wie veranschlagte Lebensdauer, vorgesehene Wartungsintervalle, Wartungskosten und -aufwände, Ersatzteilkosten und so weiter) sind beim Zulieferer zu erfassen und der den Entwicklungsprozess begleitenden Kalkulation zuzuführen. Es sind Methoden zu entwickeln, mit denen technische Merkmale und Zustände in kalkulationsfähige Informationen transferiert werden können. Mit den gewonnenen Daten lässt sich die gesamte Entwick-

lung frühzeitig auf das Ziel einer lebenszyklusorientierten Werkzeugmaschine ausrichten („Design-to-Life-Cycle-Cost“). Das Kalkulationstool „LCC-Navigator“ bildet somit die Datenbasis für die zu entwickelnde lebenszyklusorientierte Werkzeugmaschine (Bild 3).

3.2 Komponentenüberwachung

Aussagen zum wirtschaftlichen und technischen Restwert einer sich im Betrieb befindenden Werkzeugmaschine sind ohne Kenntnis der Einsatzhistorie nicht möglich. Diese Problematik erhöht sich weiter, wenn Werkzeugmaschinen unter dem Gesichtspunkt der Laufzeitverlängerung an neue Fertigungsaufgaben angepasst und dazu Komponenten der Maschine ausgetauscht werden. Ein entscheidendes Werkzeug zum Erreichen des Projektzieles ist die gezielte Überwachung funktionskritischer Komponenten. Die gewonnenen Sensorinformationen werden verdichtet und auf der entsprechenden Komponente gespeichert, um die Sicherung der Werkzeugmaschinen-Verfügbarkeit und die permanente Abbildung der tatsächlichen Betriebskosten zu gewährleisten. Ein typisches Beispiel einer Komponente, deren Zustand die Genauigkeit der Gesamtmaschine und damit die Qualität der gefertigten Werkstücke wesentlich mitbestimmt, ist der Kugelgewindetrieb einer Linearachse. Ein Kugelgewindetrieb besteht aus einer Gewindespindel sowie einer vorgespannten Doppelmutter. Neben der geometrischen Genauigkeit der Spindel ist die Vorspannung der Doppelmutter entscheidend für die Steifigkeit des Antriebssystems und damit für die Fertigungsqualität der gesamten Werkzeugmaschine. Das Ziel einer geeigneten Überwachung ist es daher, den Verschleiß des Gewindetriebs und die daraus resultierende nachlassende Steifigkeit zu detektieren, um Aussagen über Zustand und Restlaufzeit geben zu können. Durch die Kombination einer modellbasierten Herangehensweise unter Nutzung von in der Maschinensteuerung vorhandenen Parametern wie Motorströmen und Drehzahlen sowie dem gezielten Einsatz von Sensorik lässt sich eine Achse mit vertretbarem Aufwand hinreichend genau überwachen.

Die hierzu erforderlichen Strategien und hard- und softwareseitigen Systeme zur Erkennung, Verarbeitung und Speicherung lebensdauerrelevanter und kostenwirksamer Eigenschaften werden als Prototyp realisiert und in Form eines Zusatzmoduls in die Maschinensteuerung integriert. Alle Überwachungsinformationen fließen in einem Diagnose-Center zusammen und werden dort ausgewertet, verknüpft und verdichtet. Über Lastmonitore, Lastkollektive oder Crash-Rekorder lässt sich die Auswertung visualisieren. Der Zugriff auf das Diagnose-Center ist prinzipiell auch über Netzwerke realisierbar. Bestehende Ferndiagnose- und Testangebote können somit ergänzt und erweitert werden.

Gleichzeitig werden wesentliche Lastdaten komprimiert gespeichert, um so den Zustand der Maschine jederzeit abrufen zu können. Die zentrale Aggregation von Zustandsdaten der Maschine gestattet nicht nur Vorhersagen bezüglich des Verschleißes einzelner Komponenten und somit Eingriffsmöglichkeiten zum präventiven Austausch von Baugruppen, sondern auch eine bedarfsgerechte Instandhaltung. Die Informationen werden sowohl zentral vorgehalten als auch auf Objektdateiträgern in den Komponenten hinterlegt.

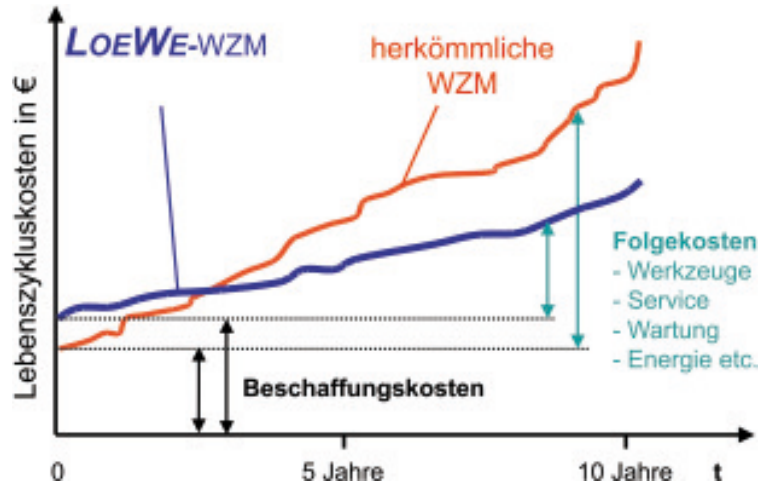


Bild 3. Lebenszykluskostenentwicklung: LoeWe vs. herkömmliche Werkzeugmaschine

3.3 Verknüpfung von Komponente und Information

Relevante Komponenten innerhalb der Maschine werden mit Objektdateiträgern ausgerüstet, die spezifische Bauteilinformationen tragen. Bei diesen Objektdateiträgern handelt es sich um drahtlos auslesbare Speichermodule, also beispielsweise um Transponder, die in die relevante Werkzeugmaschinenkomponente integriert sind. Die Objektdateiträger verbinden eine Baugruppe mit bauteilrelevanten Informationen zur Identifikation, zum Betrieb und zur Wartung der Komponente und bieten Speicherplatz, um die Ergebnisse der Überwachung an der Baugruppe zu speichern. Die Verbindung von Information und Objekt garantiert, dass Daten einer Baugruppe auch getrennt von der Werkzeugmaschine verfügbar sind und Fehler durch Medienumbrüche vermieden werden [5].

Die im Objektdateiträger hinterlegten Informationen helfen, Komponenten eindeutig zu identifizieren und so zum Beispiel Montageprozesse zu optimieren (vergleiche Bild 4). Beim Einrichten der Maschine sind umfangreiche Parameter an die Maschinensteuerung zu übergeben, die die jeweilige Komponente betreffen. Diese Parameter werden im Objektdateiträger hinterlegt und bei der Konfiguration der Steuerung automatisch ausgelesen. Damit lässt sich der Einrichtungsaufwand erheblich verringern und Fehler beim Einrichten werden vermieden. Im Falle eines Austauschs der Komponente beziehungsweise bei einer Umkonfiguration lässt

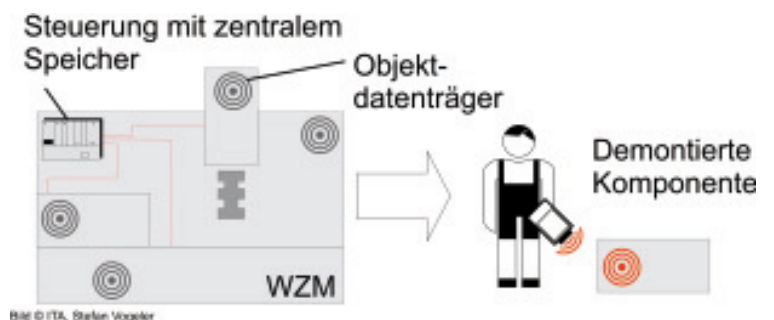


Bild 4. Verknüpfung von Komponente und Information

ITA

sich die Maschine so wesentlich schneller wieder in Betrieb nehmen.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, Wartungsvorschriften zu hinterlegen beziehungsweise fällige oder bereits durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen auf dem Objektdatenträger zu dokumentieren. Mit Hilfe des Objektdatenträgers kann der Maschinenhersteller im Servicefall die spezifische Komponente genau identifizieren und somit für entsprechenden Ersatz sorgen.

Durch den Datenaustausch zwischen dem Überwachungssystem der Werkzeugmaschine (siehe Abschnitt 3.2) und den Objektdatenträgern in den Baugruppen lässt sich der Zustand der Komponenten auch losgelöst von der Maschine bewerten. Somit können Aussagen über die technischen Restlaufzeiten der Baugruppe getroffen und zusätzlich Ursachen für Schäden oder ein Versagen der Komponente beziehungsweise Baugruppe ermittelt werden.

Werden überholte Baugruppen in eine Maschine zurückgeführt, informiert der Objektdatenträger die Überwachungssysteme über den aktuellen Zustand der Komponente, der dann in die Gesamtlebenszyklusbetrachtung mit einfließt.

4 Ausblick

Mit dem LoeWe-Projekt soll der Aspekt der Lebenszykluskosten bei Investitionen in neue Werkzeugmaschinen oder beim Umrüsten bereits vorhandener Maschinen deutlicher in den Vordergrund gerückt werden. Diese ganzheitliche Betrachtungsweise erlaubt es, Kostenvorteile beim Einsatz technologisch hochwertiger Komponenten zu bewerten. Durch die Kenntnis der jeweiligen technischen und wirtschaftlichen Restlebensdauer einer Maschine ist deren Weiternutzung oder technologische Umrüstung objektiv planbar. Hiermit und durch die einfache Integrationsmöglichkeit weiterer Fertigungstechnologien lässt sich die wirtschaftliche Gesamtlebensdauer erweitern.

Das Gesamtkonzept der lebenszykluskostenorientierten Entwicklung von Werkzeugmaschinen kann vom zu realisierenden Prototypen einer Vertikaldrehmaschine auf alle Werkzeugmaschinen und viele technische Anlagen ausgedehnt werden. Dies gilt auch für einzelne Entwicklungen aus dem LoeWe-Projekt, beispielsweise der Kombination aus Überwachungssystem und Lebenszykluskosten-Navigator, dem Einsatz von Objektdatenträgern zur Verknüpfung von Komponente und Information oder der Entwicklung innovativer Baugruppen.

Ansprechpartner für weitere Informationen

Dipl.-Ing. Alwin Harms
Produktionstechnisches Zentrum Hannover – IFW
(weitere Kontaktdaten siehe vorne)

Dr.-Ing. Uwe Krause
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Projekträger Forschungszentrum Karlsruhe
Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT)
Außenstelle Dresden
Hallwachsstr. 3, D-01069 Dresden
Tel. +49 (0)351 / 463-31430
E-Mail: uwe.krause@ptka.fzk.de
Internet: www.fzk.de/ptka/pft

Informationen zum Projekt

„Lebenszyklusorientierte Werkzeugmaschine“ (LoeWe)
Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projekträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PFT) betreut (Laufzeit: 04/2004 – 03/2007).

Literatur

- [1] N. N.: Homepage zum Projekt „Lebenszyklusorientierte Werkzeugmaschine“ (LoeWe). Internetadresse: www.projekt-loewe.de. Stand: 23.05.2005
- [2] Nau, D.: Total Cost of Ownership (TCO) bei Daimler Chrysler. Herbsttagung „Life-Cycle_Performance in der Produktionstechnik“. Band 11. Karlsruhe, November 2004
- [3] Fleischer, J.; Weismann, U.; Nesges, D.; Wawerla, M.: Life-Cycle-Performance in der Produktionstechnik – Anlagenhersteller und Betreiber gleichermaßen unterstützen. VDI-Z 146 (2004) H. 10, S. 87–90
- [4] Kinkel, S.: Informationsschreiben Nr. 3 des BMBF-Begleitvorhabens „WZM-Initiative 20xx“, Karlsruhe, Februar 2005
- [5] Overmeyer, L.; Vogeler, S.: RFID – Grundlagen und Potenziale. Hannover Kolloquium, 09/2004, S. 139–154