

Systematisch, transparent, reproduzierbar

Mit der Statistischen Versuchsmethodik Einfahrprozesse bei Fräsbearbeitungen optimieren

Tilo Pfeifer und
Robert Münnich, Aachen

Das Projekt „Maschinennahe Qualitätsregelkreise“ hat zum Ziel, die Einfahrvorgänge von Fräsprozessen zu systematisieren¹. Diese Herangehensweise überzeugt neben der hohen Planungssicherheit durch den Vorteil der Reproduzierbarkeit. Ein geeignetes Werkzeug, den Zusammenhang zwischen den Einstellgrößen des Fräsprozesses und seinen Zielgrößen zu ermitteln, ist die Statistische Versuchsmethodik (SVM). Allerdings ist ihre Anwendung komplex und

Das Erfahrungswissen der Maschinenbediener bestimmt derzeit die Qualität und Geschwindigkeit der Einfahrprozesse von Fräsbearbeitungen. Insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen konzentriert sich dieses Wissen auf einzelne Mitarbeiter. Mit Hilfe der Statistischen Versuchsmethodik wurde ein Werkzeug entwickelt, welches ein Unternehmen in die Lage versetzt, systematisch den Zusammenhang zwischen Einstellgrößen des Fräsprozesses und den Qualitätsmerkmalen eines Bauteils zu ermitteln.

maschinen und Betriebslehre (WZL), Aachen, ein Werkzeug entwickelt, das es einem Anwender ermöglicht, einen statistischen Versuch zu planen, durchzuführen und auszuwerten (Bild 1). Neben vorhandenen Bauteilinformationen werden dafür nur Informationen über die Maschine, Randbedingungen des Einfahrprozesses und grundlegendes Prozesswissen benötigt. Aus diesen Daten kann ein geeigneter Versuchsplan erzeugt und zur Durchführung vorbereitet werden.

Maße mit ihren Toleranzen zugeordnet. Die Elemente werden gespeichert und stehen bei Bedarf wieder zur Verfügung. Aus einem Versuchsplankatalog wird der beste Versuchsplan für diese Aufgabe ausgewählt.

Mitarbeiterentlastung

Das Versuchsdurchführungswerkzeug stellt die entscheidende Schnittstelle zwischen den Datenbanken des Versuchsplanungswerkzeuges, der Steuerung der Bearbeitungsmaschine und dem Maschinenbediener dar (Bild 2).

Der Maschinenbediener soll von der, je nach Komplexität des Bauteils, sehr umfangreichen und damit fehleranfälligen Variation des NC-Programms entlastet werden. Dazu werden für die statistischen Versuche parametrisierte NC-Programme eingesetzt. Die Parameter können über einen Maschinenbus und die herstellerunabhängige OPC-Schnittstelle von der Durchführungssoftware entsprechend dem Versuchsplan variiert werden. Fehlerhafte Versuchspunkte sind dadurch ausgeschlossen. Der Ablauf zur Versuchsdurchführung ist in Bild 3 dargestellt.

Zur Berechnung der Werte der Versuchsparameter und zur Aufbereitung der aktuellen Versuchspunkte wird auf Daten zugegriffen, die zentral in der Datenbank der Versuchsplanungssoftware abgelegt sind. Es müssen während der Versuchsdurchführung keine weiteren



Bild 1.
Struktur der
maschinen-
nahen
SVM-Software

die Vorbereitung der Versuche mit großem Aufwand verbunden. Die komplexen Regeln und die abstrakte Systematik Statistikklaien zugänglich zu machen, ist eine zwingende Voraussetzung, um die SVM als Werkzeug zum Prozesseinfahren in der Praxis zu etablieren. Daher wurde vom Laboratorium für Werkzeug-

Statistik leicht gemacht

Zur Beschreibung einer Bearbeitungsaufgabe ist in einer Datenbank des Versuchsplanungsmoduls das so genannte „Messtechnische Element“ modelliert worden. Es ermöglicht die Beschreibung jeder beliebigen Regelgeometrie. Die an einem Bauteil vorkommenden Elemente werden bei dieser Modellierung durch einfache Grundelemente aufgebaut. Jedem dieser Grundelemente werden die in der Konstruktionszeichnung definierten Form-, Lage-, Positions- und Oberflächentoleranzen zugeordnet. Dem Element selbst sind die geometrischen

¹ Das Projekt wurde von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert und von der Forschungsgemeinschaft Qualität e. V. (FQS) betreut.

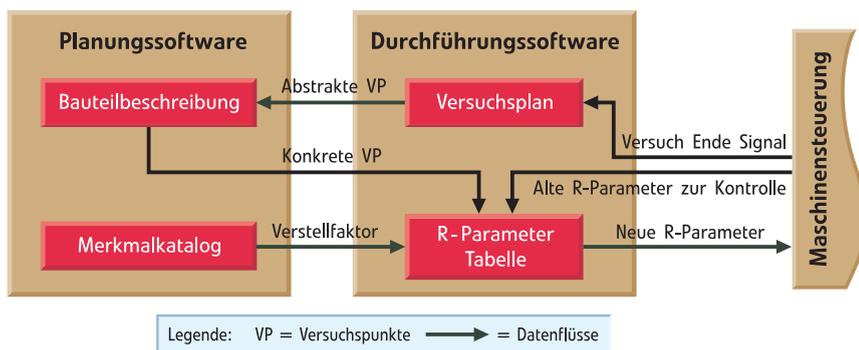


Bild 2. Schnittstellen der Softwarewerkzeuge und Maschinensteuerung

Werte eingegeben werden. Diese kann daher zügig erfolgen, ohne den Produktionsprozess einzuschränken.

! Einfache Berechnung

Aus den Messergebnissen der Qualitätsmerkmale der in den Versuchen gefertigten Bauteile können die Effekte der einzelnen Prozessparameter auf den Prozess und damit die signifikanten Stellgrößen des Prozesses ermittelt werden. Da das Versuchsplanungsmodul eine richtige Auswahl und Belegung der Versuchspläne garantiert, werden alle relevanten Wechselwirkungen zwischen zwei Parametern ermittelt. Die wesentlichen Einflussgrößen und ihre Wechselwirkungen mit ihrem jeweiligen Einfluss

aufgestellt, die den funktionalen Zusammenhang zwischen den Prozessparametern und den Qualitätsmerkmalen modellieren. Für jede dieser Gleichungen ist es einfach möglich, eine individuell beste Lösung zu ermitteln. Die Gleichungen können jedoch nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, da die einzelnen Qualitätsmerkmale im selben Bearbeitungsschritt erzeugt werden. Aus diesem Grund müssen die Gleichungen als System betrachtet werden, das im Ganzen gelöst werden muss. Das Gleichungssystem wird numerisch derart gelöst, dass der beste Kompromiss bei den Einstellungen der Parameter für alle Gleichungen erreicht wird. Für die Lösung des Systems können Randbedingungen, wie etwa eine maximale Bear-

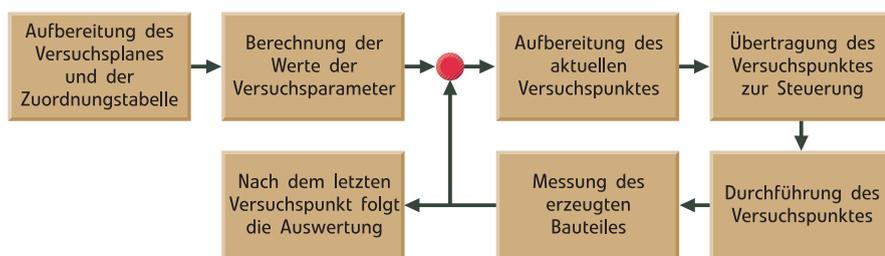


Bild 3. Vorgehensweise bei der Versuchsdurchführung

auf die Qualitätsmerkmale des Bauteils ergeben die so genannten Produkt-Prozess-Korrelationen. Sie modellieren einen funktionalen Zusammenhang zwischen Einflussgrößen und Wechselwirkungen, der in erster Näherung als linear angenommen wird.

! Beste Lösung

Der letzte Schritt zur Schließung des Qualitätsregelkreises ist die Rückkopplung der Versuchsergebnisse in den Produktionsprozess. Aus den in den Versuchen ermittelten Produkt-Prozess-Korrelationen werden Regressionspolynome

beurteilt, vorgegeben werden. Darüber hinaus ist es möglich, wichtige Qualitätsmerkmale (z.B. funktionsbestimmende Toleranzen) zu priorisieren, so dass die Optimierung dieser Gleichung vorrangig geschieht. Die ermittelten Werte können dann über die oben beschriebene Schnittstelle direkt der Maschinensteuerung übergeben werden. Bei einer Abweichung in der Serie wird dieselbe Vorgehensweise wie bei der Einfahrregelung genutzt. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Mittelwerte der Regressionspolynome durch den aktuellen Mittelwert der Messwerte der Qualitätsmerkmale ersetzt werden. Da

diese Werte üblicherweise in einer Statistischen Prozesskontrolle (SPC) überwacht werden, stehen sie dem Regelkreis zur Verfügung.

Diese durchgängige Lösung ermöglicht es insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen, Prozesswissen transparent herauszuarbeiten und damit Einfahrvorgänge zu beschleunigen. Das Verfahren wird derzeit in Pilotanwendungen getestet. Erste positive Erfahrungen bestätigen die Praxistauglichkeit des Verfahrens.

! Die Autoren dieses Beitrags

Prof. Dr.-Ing. Tilo Pfeifer, geb. 1939, ist Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement des Laboratoriums für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) an der RWTH Aachen und Leiter der Abteilung Mess- und Qualitätstechnik des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie (IPT) in Aachen. Er ist Mitglied des Direktoriums des WZL und des IPT, Vorstandsmitglied der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA), Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirats der Deutschen Gesellschaft für Qualität e.V. (DGQ) und Vorsitzender der Gesellschaft für Qualitätswissenschaft (GQW).

Dipl.-Ing. Robert Münnich, geb. 1976, ist seit 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehrstuhls für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement der RWTH Aachen. Seine Arbeitsschwerpunkte sind maschinennahe Qualitätsregelkreise und Methoden der statistischen Versuchsplanung.