



Erfolgreich Fräsen im Werkzeugbau

2018

Wolfgang Boos
Kristian Arntz
Lars Johannsen
Marcel Prümmer
Rainer Horstkotte
Philipp Ganser
Tommy Venek
Vincent Gerretz





**WBA
WERKZEUGBAU
AKADEMIE**

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie

Die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie erarbeitet in einem Netzwerk aus führenden Unternehmen des Werkzeugbaus branchenspezifische Lösungen für die nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit der Branche Werkzeugbau. Im Mittelpunkt der Aktivitäten stehen die Schwerpunkte Industrieberatung, Weiterbildung, Branchenlösungen sowie Forschung und Entwicklung. Durch einen eigenen Demonstrationswerkzeugbau hat die WBA die Möglichkeit, innovative Lösungsansätze in einer Laborumgebung zu pilotieren und schnell für ihre Partnerunternehmen zugänglich zu machen. Zusätzlich werden Schwerpunktthemen in aktuellen Studien vertieft. Diese geben Auskunft über Trends und Entwicklungen von Markt und Wettbewerb.



Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Aufgabe des Fraunhofer IPT ist die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in wirtschaftlich nutzbare, einzigartige Innovationen auf dem Gebiet der Produktion. Das Fraunhofer IPT fördert und betreibt anwendungsorientierte Forschung, Umsetzung von Forschungsergebnissen und Beratung mit Relevanz und Wirkung zum unmittelbaren Nutzen für die Industrie und leistet dadurch einen signifikanten Beitrag zu deren Wettbewerbsfähigkeit. Das Geschäftsfeld »Werkzeugbau« des Fraunhofer IPT bietet Unternehmen, Zulieferern und Kunden des Werkzeug- und Formenbaus ganzheitliche Lösungen, damit diese die vielfältigen Herausforderungen ihrer Branche erfolgreich bewältigen.

Impressum

Erfolgreich Fräsen im Werkzeugbau

Studie Fraunhofer IPT

Copyright © 2018

Autoren:

Prof. Dr. Wolfgang Boos, Dr. Kristian Arntz, Lars Johannsen,
Marcel Prümmer, Rainer Horstkotte, Philipp Ganser, Tommy Venek, Vincent Gerretz

Gestaltung: Karlla Giol

ISBN: 978-3-946612-28-5

Druck: printclub, 1. Edition

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Steinbachstraße 17

52074 Aachen

www.ipt.fraunhofer.de

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Campus-Boulevard 30

52074 Aachen

www.werkzeugbau-akademie.de

Die Ergebnisse der maschinenintegrierten Oberflächennachbearbeitung wurden in Zusammenarbeit mit der Mössner GmbH und der Zecha Hartmetall-Werkzeugfabrikation GmbH erzielt. Der gefertigte Demonstrator wurde von der Firma Fraisa SA zur Verfügung gestellt.

Erfolgreich Fräsen im Werkzeugbau

2018

Wolfgang Boos
Kristian Arntz
Lars Johannsen
Marcel Prümmer
Rainer Horstkotte
Philipp Ganser
Tommy Venek
Vincent Gerretz



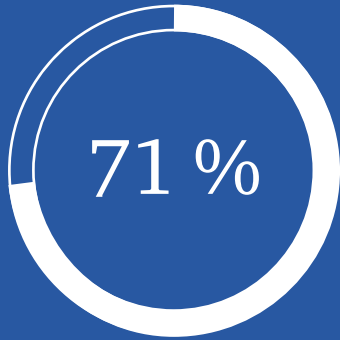
Spotlight

Die Branche des Werkzeug- und Formenbaus steht vor einer Vielzahl an Herausforderungen. Technologische Trends, Globalisierung sowie steigende Qualitätsansprüche erfordern von den Werkzeugbauunternehmen zunehmend eine flexible Werkzeuggestaltung und effiziente Prozesse. Der optimale Einsatz vorhandener sowie die Integration innovativer Fertigungstechnologien in bestehende Prozessketten sind daher von entscheidender Bedeutung.

Das Fräsen ist eine Schlüsseltechnologie des Werkzeug- und Formenbaus und aufgrund der hohen Flexibilität gut in Prozessketten integrierbar. Hinsichtlich einer effizienten und stabilen Prozessauslegung sind jedoch verschiedene Einflussfaktoren wie beispielsweise Fräswerkzeug, Bauteilwerkstoff und Bearbeitungsstrategie zu berücksichtigen.

Die Studie „Erfolgreich Fräsen im Werkzeugbau“ zeigt den derzeitigen Status quo der Frästechnologie in der Branche des Werkzeug- und Formenbaus in Deutschland auf. Darüber hinaus werden aktuelle Trends und technologische Entwicklungen beschrieben. Abschließend wird ein Vorgehen zur Auslegung der optimalen Bearbeitungsstrategie beim Fräsen vorgestellt.

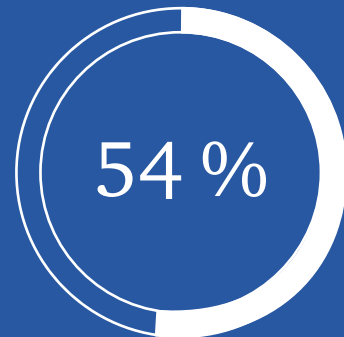




71 %
der Unternehmen setzen eine
Kollisionskontrolle während der
CAM-Programmierung ein

22,1 h

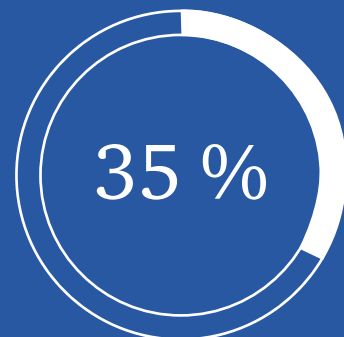
22,1 h
beträgt die durchschnittliche
Bearbeitungszeit eines Werkstücks
beim Schlichten



54 %
beträgt das durch die Umfrageteil-
nehmer erwartete Wachstum an
5-Achs-Prozessen im Schlichten in
5 bis 10 Jahren



50 %
der befragten Unternehmen setzen
eine Online-Überwachung des
Fräsprozesses ein



35 %
der Unternehmen gehen in 5 bis 10
Jahren von geforderten Oberflächen-
güten (Rz) von weniger als 1 µm aus

450

450
Fräswerkzeugtypen werden maximal
eingesetzt



Executive Summary

Eine vollständige Nutzung der technologischen Potentiale der Frästechnologie findet im Werkzeug- und Formenbau derzeit nicht statt.

Der Werkzeug- und Formenbau in Deutschland und anderen Hochlohnländern unterliegt zahlreichen Herausforderungen. Die Kunden, in Form des produzierenden Gewerbes, erwarten kontinuierlich höhere Werkzeugqualitäten bei zunehmend schwierig zu bearbeitenden Werkstoffen. Darüber hinaus erfordern zunehmend komplexe Produktdesigns sowie eine wachsende Variantenvielfalt eine steigende Flexibilität des Fräsens. [1] Die Globalisierung der Wirtschaft führt dazu, dass neue Wettbewerber auf den Markt des Werkzeug- und Formenbaus drängen, die sich durch niedrige Lohnkosten auszeichnen. [2] Hierdurch werden etablierte Werkzeugbauunternehmen einem hohen Kostendruck ausgesetzt. Aus diesem Grund dürfen sich Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus nicht vor neuen Technologietrends, wie der additiven Fertigung oder Industrie 4.0 verschließen, um konkurrenzfähige Werkzeuge und Dienstleistungen am Markt anbieten zu können. [3]

Die Branche begegnet den genannten Herausforderungen mit einem fundamentalen Wandel der Organisationsstrukturen. Ausgehend von einem Fertigungsverständnis als handwerkliche Manufaktur mit langen Durchlaufzeiten, geringer Termintreue und hohen Beständen ist ein industrieller Werkzeugbau anzustreben. Dieser ist durch standardisierte Werkzeuge und Prozessabfolgen, kurze Durchlaufzeiten mit hoher Termintreue sowie eine zunehmende Flussorientierung charakterisiert. Zur Realisierung dieses Fertigungswandels sind stabile und flexible Prozesse essentiell für den Erfolg eines Unternehmens. Im Werkzeug- und Formenbau ist die Technologie des Fräsens mit einem Fertigungsanteil von 47 % eine der Kerntechnologien. Die zugrunde liegende Studie zeigt, dass die technologischen Möglichkeiten des Fräsens nicht vollständig ausgeschöpft werden. Insbesondere der Einsatz innovativer Fräswerkzeugkonzepte oder der Einsatz einer Prozessdatenerfassung besitzen hohes Potenzial.

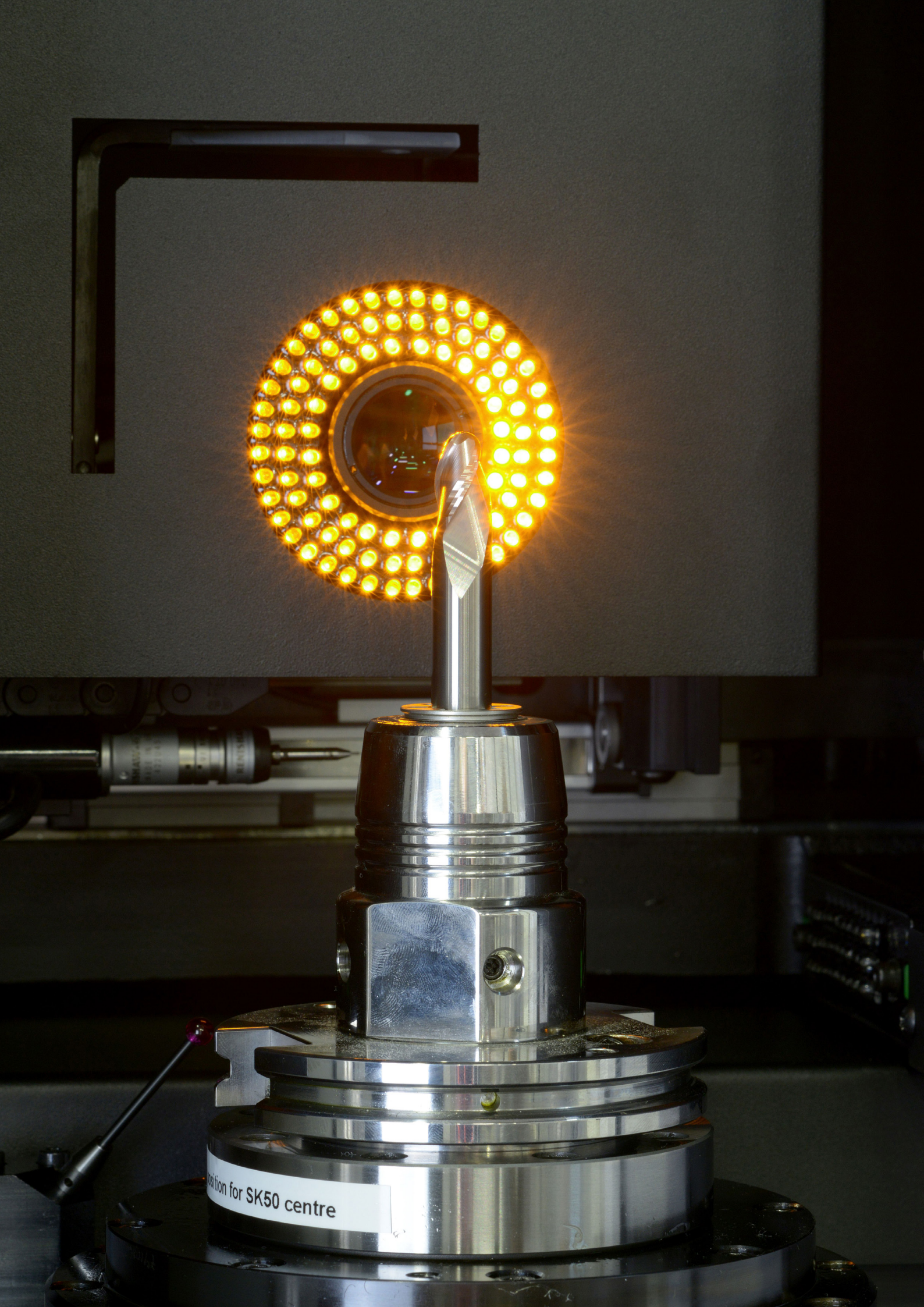
Um den beschriebenen Wandel auch auf fertigungstechnischer Ebene umsetzen zu können, werden in dieser Studie aktuelle technologische Innovationen speziell im Bereich der Frästechnologie vorgestellt. Im Bereich der Prozessplanung werden alternative Schruppfrässtrategien, wie etwa das Tauch- oder Trochoidalfräsen, diskutiert. Im Bereich des Schlichtfräsens werden neuartige Bearbeitungsstrategien in Verbindung mit innovativen Werkzeugkonzepten, wie etwa der Einsatz von Tonnen- bzw. Kreissegmentfräsern, näher betrachtet. Des Weiteren werden innovative Werkzeugkonzepte zur maschinenintegrierten Oberflächennachbearbeitung vorgestellt. Durch die Integration der vorgestellten Werkzeugkonzepte können bereits auf der Fräsmaschine eine hohe Oberflächengüte erzielt und dadurch nachfolgende Prozessschritte verkürzt werden bzw. gänzlich entfallen. Schließlich werden die Potentiale der Prozessdatenerfassung aufgezeigt. Hierzu werden anhand des gewählten Demonstrators exemplarisch die Prozessschritte Datenerfassung, -verarbeitung und -visualisierung zur Bewertung der Bauteilqualität vorgestellt. Abschließend wird ein Vorgehen erläutert, das den Unternehmen ermöglicht, mit einem Demonstrator die optimale Bearbeitungsstrategie für einen Fräsprozess festzulegen, um somit den in dieser Studie beschriebenen Herausforderungen und Anforderungen entgegenzutreten.



47 %

beträgt der durchschnittliche Fertigungsanteil des Fräsens





Position for SK50 centre

Studiendesign

Umfragen mit bis zu 237 beteiligten Unternehmen bilden die Datengrundlage dieser Studie.

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen und dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT fokussiert die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie ihre Tätigkeiten auf die Bewertung von Werkzeugbaubetrieben und Marktanalysen der Branche. Über die Jahre wurde so eine Datenbank mit mehr als 1.000 Benchmarkingdatensätzen deutscher und internationaler Werkzeugbaubetriebe erstellt. Da die Daten nicht älter als fünf Jahre sind, sind ganzheitliche Aussagen hinsichtlich der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der Werkzeugbaubetriebe sowie zur zukünftigen Entwicklung möglich.

Die vorliegende Studie „Erfolgreich Fräsen im Werkzeugbau“ entstand in Zusammenarbeit zwischen der Gruppe Technologieorganisation und der Abteilung Hochleistungszerpannung des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT. Ziel der Studie ist es, einen Überblick über den derzeitigen Stand der Frästechnologie im deutschsprachigen Werkzeug- und Formenbau sowie aktuelle technologische Innovationen im Fräsen zu geben.

Die Grundlage der Studie bilden zwei Umfragen. Einerseits wurde zur ganzheitlichen Erfassung des Status quo der Werkzeugbaubranche eine weitgefächerte Umfrage mit 237 Umfrageteilnehmern und 30 zu beantwortenden Fragen durchgeführt. Andererseits wurde innerhalb einer Gruppe von 14 Unternehmen ein direkter Vergleich der CAM-Programmierung und Fräsbearbeitung mit einem Demonstrator durchgeführt, um eine Analyse der eingesetzten Frässtrategien sowie deren Leistungsfähigkeit zu ermöglichen.

Umfrage zum Status quo

Im Rahmen der Befragung zum Status quo gaben 237 Umfrageteilnehmer Auskunft zu allgemeinen Fragen der Werkzeugbaubranche, dem Stand der Technik und zukünftigen technologischen Trends. Aufgrund der hohen Anzahl an Unternehmen sind die Branchen der adressierten Kunden heterogen verteilt, wobei mit 44 % die Automobilindustrie dominiert. Eine Betrachtung des Werkzeugspektrums zeigt zudem, dass die hergestellten Werkzeuge mit 62,6 % überwiegend Spritzgusswerkzeuge sind, gefolgt von allgemeinen Vorrichtungen mit 48,8 %. Der Marktzugang ist mit einem Anteil von ca. zwei Dritteln extern und zu einem Drittel intern.

Umfrage zu Frässtrategien

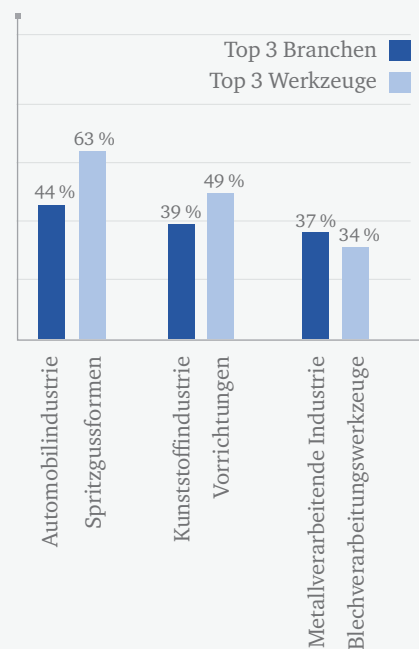
Die Datenerhebung zur Analyse der eingesetzten Frässtrategien stützt sich auf ein Konsortium von 14 Unternehmen. Ähnlich wie die Umfrage zum Status quo ist eine heterogene Verteilung der adressierten Kundenbranchen festzustellen, wobei mit 78 % ebenfalls die Automobilbranche dominiert. Im Vergleich zeigt sich jedoch ein anderes Werkstückspektrum. So dominieren mit 51 % ebenfalls die Spritzgusswerkzeuge, jedoch zählen trotz des hohen Anteils der Automobilindustrie die Blechverarbeitungswerkzeuge mit 21 % nicht zu den häufigsten Werkzeugen.

Struktur der Studie

Der Aufbau der Studie ist so strukturiert, dass zunächst der aktuelle Stand der Technik der Frästechnologie beleuchtet wird. Hieraus werden technologische Handlungspotentiale abgeleitet, für die im weiteren Verlauf der Studie innovative Lösungen vorgestellt werden. Zur Bewertung der aufgezeigten Lösungsmöglichkeiten wird ein Vorgehen mit einem Demonstrator vorgestellt, mit dem Unternehmen befähigt werden, Fräsprozesse systematisch zu bewerten.

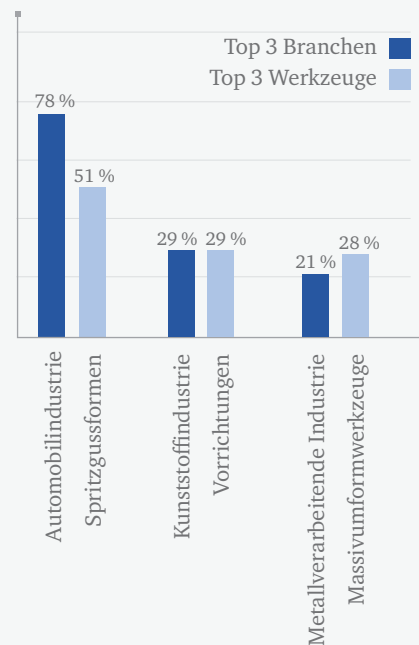
Referenzgruppe: Allgemeiner Status quo

[Mehrfachnennung möglich] n = 237



Referenzgruppe: Konsortium Frässtrategie

[Mehrfachnennung möglich] n = 14





Erfolgreich Fräsen im Werkzeugbau

Den Stand der Technik des Fräsens zu beherrschen, ist die Pflicht, die Innovation zu meistern die Kür.

Eine der Kerntechnologien des Werkzeug- und Formenbaus ist das Fräsen, welches branchenunabhängig mit bis zu 50 % den größten Fertigungsanteil aufweist. Bedingt durch die charakteristische Unikaterfertigung ist eine Beherrschung der Prozessstellgrößen im Hinblick auf die Herstellung eines den Kundenanforderungen entsprechenden Werkzeugs bei minimalen Kosten essentiell. Das Ziel der Optimierung eines Fräsprozesses ist demnach weniger die Ausreizung der technologischen Grenzen, sondern vielmehr eine hohe Prozesssicherheit bei gleichzeitig hoher Effizienz.

Eine Betrachtung der zentralen Herausforderungen der befragten Unternehmen zeigt, dass diese ausgehend vom technologischen Standpunkt vielfältig sind. Die steigenden Kundenanforderungen erfordern von den Unternehmen die Festlegung einer geeigneten Bearbeitungsstrategie. Hierbei müssen verschiedene Aspekte wie eine geeignete Wahl des Schneidstoffes oder Parameter wie Spindeldrehzahl und Vorschubgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Insbesondere die Integration einer innovativen Datenverarbeitung stellt derzeit viele Unternehmen vor Probleme, sodass nicht alle Potentiale genutzt werden.

Die Befragung der Werkzeugbauunternehmen zeigt, dass sich erfolgreiche Frässtrategien durch drei Aspekte charakterisieren: Prozessoptimierung, Integration in die Prozesskette und eine intelligente Datenverarbeitung. Bei der Prozessoptimierung stehen vor allem die Steigerung der Maschinenlaufzeit, der optimierte Werkzeugnutzen sowie ein reduzierter Werkzeugverschleiß, während bei der Prozesskettenintegration die Gesamtbearbeitungsdauer im Vordergrund steht. Schließlich ist ein Merkmal einer modernen Datenverarbeitung die Aufnahme von prozessrelevanten Maschinendaten.

Im Folgenden werden moderne Fräswerkzeugtypen vorgestellt, die aufgrund des großen Konturradius eine Produktivitätssteigerung von 80 % versprechen. Darüber hinaus werden zwei aktuelle Bearbeitungsstrategien in Form des Trochoidal- und Tauchfräsens beschrieben, mit denen einerseits eine höhere Zerspanrate und somit eine verbesserte Produktivität zu erreichen ist und andererseits ein positiver Einfluss auf die Stabilität ausgeübt werden kann. Die für den Werkzeug- und Formenbau kennzeichnenden hohen Anforderungen an die Oberflächencharakteristik können durch eine maschinenintegrierte Oberflächennachbearbeitung erreicht werden. Mit dem Einsatz von Diamantdrück- und Hartmetall-Kugelpfanzwerkzeugen kann die Oberflächenrauheit um 50 % reduziert werden, wobei sich die Aufwände für den zusätzlichen Prozessschritt in Grenzen halten. Schließlich wird mit dem „Digitalen Zwilling“ eine Methode der Datenverarbeitung vorgestellt, die einen Vergleich des Soll- und Ist-Werkzeugpfads ermöglicht, sodass die Genauigkeit der Werkzeugmaschine eingeschätzt werden kann. Zusätzlich zu der Vorstellung von aktuellen technologischen Entwicklungen vermittelt die Studie ein Vorgehen zur Bewertung der optimalen Bearbeitungsstrategie. Mit diesem Leitfaden ist es möglich, unternehmensspezifisch optimale Prozessparameter und Prozessketten für die Fertigung von Werkzeugen abzuleiten.



*Erfolgsfaktoren
für erfolgreiche
Frässtrategien*



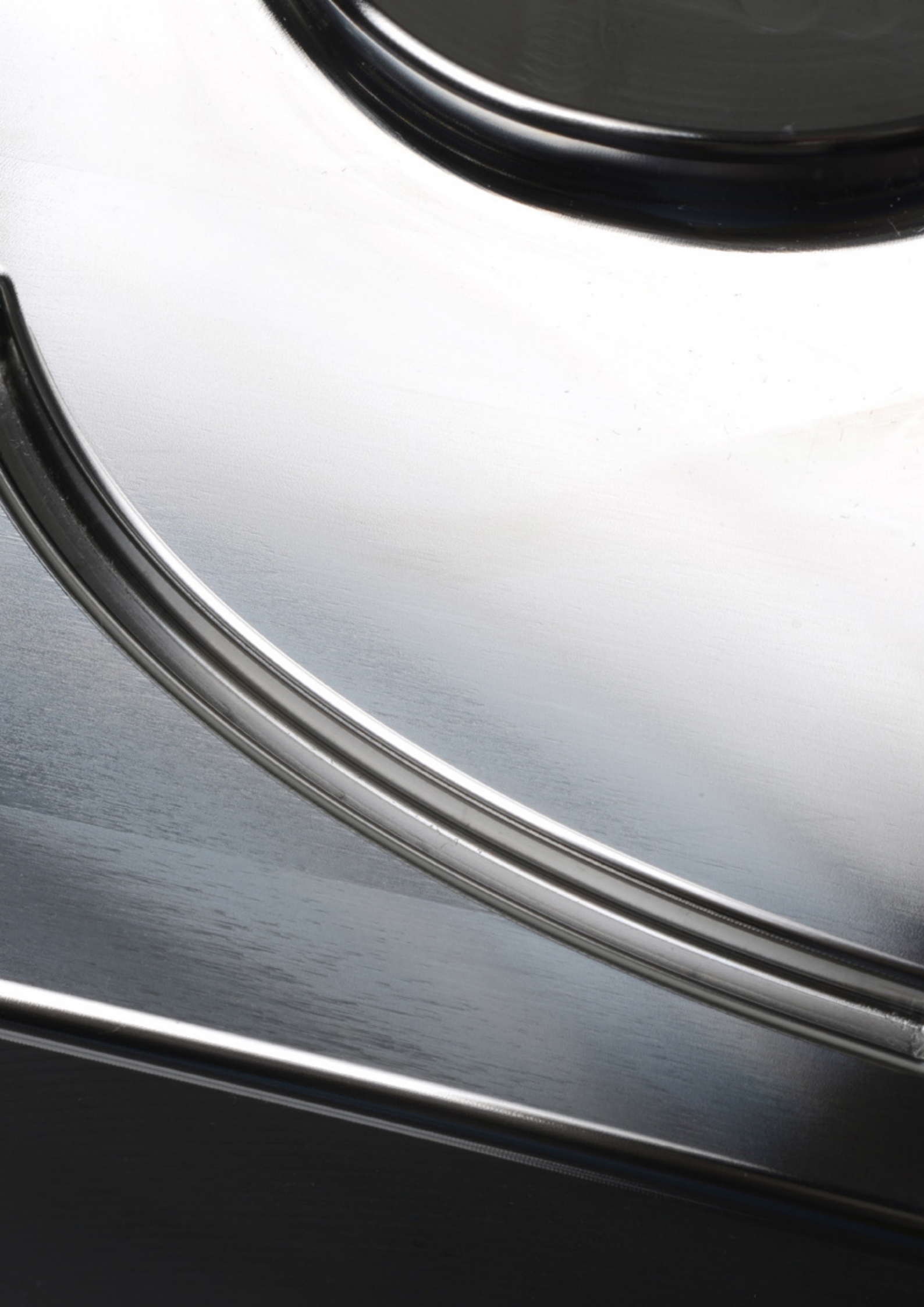
Produktivität



Flexibilität



Datenverarbeitung



Fräsen im Werkzeugbau – Status quo

Klassische Bearbeitungsstrategien sowie konventionelle Fräswerkzeugkonzepte dominieren den Werkzeug- und Formenbau.

Die Schlüsselstellung des Werkzeug- und Formenbaus in der industriellen Wertschöpfungskette produzierender Unternehmen und das branchenübergreifende Produktspektrum stellen hohe Anforderungen an die eingesetzten Fertigungstechnologien zur kundengerechten Herstellung der Werkzeuge. Die richtige Wahl der Bearbeitungsstrategie ist die Grundlage für einen optimalen Kompromiss aus geringen Fertigungskosten, hoher Flexibilität sowie geforderter Qualität. Neben der Bearbeitungsstrategie sind dabei die wichtigsten Einflussgrößen das Werkstück, die Fräswerkzeugtypen sowie die Werkzeugmaschine. Im Folgenden wird eine Übersicht über den aktuellen Stand der Technik der verschiedenen Einflussfaktoren beim Fräsen aufgezeigt.

Werkstücke

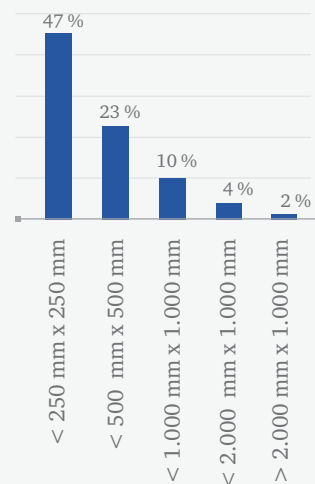
Die Umfrage zeigt, dass mit 47,1 % überwiegend kleinere Werkzeuge mit Abmessungen kleiner als 250 mm x 250 mm gefertigt werden. Mit zunehmender Werkzeuggröße ist eine Abnahme des prozentualen gefertigten Anteils zu verzeichnen, wobei lediglich 5 % der Werkzeuge größer als 1000 mm x 1000 mm sind. Der am häufigsten verwendete Werkstoff ist der Warmarbeitsstahl 1.2343. Ein branchenspezifischer Vergleich der eingesetzten Werkstoffe zeigt, dass 43 % der befragten Werkzeugbauunternehmen mit Fokus auf Spritzgusswerkzeugen den Warmarbeitsstahl 1.2343 verwenden, wohingegen Werkzeuge zur Blechverarbeitung mit 44 % am häufigsten aus dem Kaltarbeitsstahl 1.2379 gefertigt werden. Des Weiteren sind die Werkstücke durch eine Härte von 52,7 HRC gekennzeichnet.

Zudem gibt ein Großteil der befragten Unternehmen (75 %) an, dass bei den zu erzeugenden Werkstückoberflächen durchschnittlich Oberflächengüten (Rz) von 1 bis 10 µm gefordert werden. Ein kleiner Teil der Werkzeugbaubetriebe (7 %) gibt sogar an, dass durchschnittlich Oberflächengüten (Rz) von weniger als 0,5 µm von den Kunden gefordert werden.

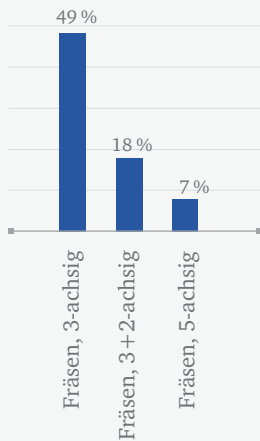
Fräswerkzeuge

Im Rahmen der Fräsbearbeitung von Werkzeugen setzen die befragten Unternehmen eine große Variation an verschiedenen Fräswerkzeugtypen ein. Dabei kommen bis zu 450 verschiedene Fräswerkzeugtypen zum Einsatz. Zur Erreichung einer wirtschaftlichen Betriebsmittelorganisation ist eine möglichst geringe Anzahl verschiedener Fräswerkzeuge anzustreben. Diese Standardisierung führt auch zu einer höheren Prozessstabilität. Eine Betrachtung der verschiedenen Werkzeugtypen, exemplarisch für den Schlichtprozess, zeigt, dass überwiegend konventionelle Werkzeuge wie Schaft- (86 %), Torus- (93 %), Kugelkopf- (93 %) und Wendepplattenfräswerkzeuge (50 %) verwendet werden. Innovative Werkzeugtypen wie Kreissegmentfräser werden dagegen nur zu 21 % verwendet. Dem zugrunde liegen die komplexen Werkzeuggeometrien und die daraus resultierenden Herausforderungen bei der CAM-Programmierung.

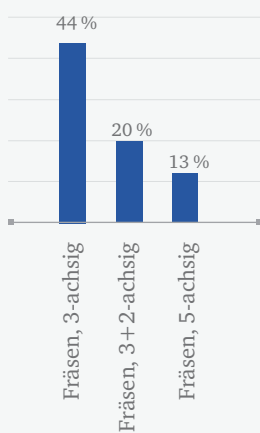
Verteilung der
Werkzeuggrößen



Die häufigsten Achskonfigurationen beim Schrappen



Die häufigsten Achskonfigurationen beim Schlichten



Fräsmaschine

Die Leistungsfähigkeit der Werkzeugmaschine hat einen direkten Einfluss auf die Produktivität, Flexibilität und Qualität des Fertigungsprozesses. Beispielsweise führt eine Ausstattung mit aktueller Peripherie in Form von Werkzeug- und Werkstückwechslern zu einer Steigerung der manuellen Fertigung und somit zu einer Steigerung der Produktivität. Im Vergleich zu anderen Fertigungstechnologien, so das Ergebnis der Studie „Erfolgreich Automatisieren im Werkzeugbau“, ist der Automatisierungsgrad beim Fräsen mit 62 % am höchsten. Moderne Werkzeugmesssysteme führen zudem zu einer Verringerung der Rüst- und Nebenzeiten und haben somit ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Produktivität. Bei der Qualität wirken sich bspw. Prozessüberwachungssysteme und eine leistungsfähige Schwingungsdämpfung auf die Genauigkeit und Oberflächengüte aus. Hinsichtlich der Flexibilität sind vor allem der Arbeitsraum und die Anzahl der Achsen von Bedeutung. Bei den 237 befragten Unternehmen zeigt sich, dass mit knapp 50 % die dominierende Achskonfiguration die 3-Achs-Konfiguration ist, wohingegen die 3+2-Achs-Konfiguration zu knapp 20 % und die 5-Achs-Konfiguration zu ungefähr 10 % verwendet werden. Für die geringe Verbreitung der 5-Achs-Konfiguration lassen sich zwei Gründe benennen. So erfordern eine Vielzahl der hergestellten Werkstücke nicht zwingend eine simultane 5-Achs-Bearbeitung. Daher wird zur Sicherstellung einer hohen Prozessstabilität der Fokus auf die etablierte 3-Achs-Bearbeitung gelegt. Des Weiteren ist die geringe Verbreitung der 5-Achs-Bearbeitung damit zu begründen, dass die befragten Unternehmen vor Herausforderungen, vor allem in der Programmierung, gestellt werden.

Frässtrategien

Abhängig vom aktuellen Bearbeitungsstand des Werkstücks ist zwischen zwei grundsätzlichen Bearbeitungsschritten zu entscheiden: Schrupp- und Schlichtbearbeitung. Das Ziel der Schrubbearbeitung ist das Erzielen eines maximalen Zeitspannvolumens. Der Zerspanprozess wird aufgrund einer möglichst hohen Produktivität an der mechanischen Belastungsgrenze betrieben. Dabei kommen große Fräswerkzeugdurchmesser mit belastbaren Schneidstoffen zum Einsatz. Die durchschnittliche Bearbeitungsdauer pro Werkstück beträgt bei den befragten Werkzeugbauunternehmen 7 h. Der Prozessschritt des Schlichtens dagegen hat das Ziel, eine maximale Zeitspanfläche zu erreichen, so dass das bearbeitete Werkstück eine möglichst hohe Oberflächenqualität aufweist. Demnach ist die Bearbeitung durch geringe Zustellungen sowie Vorschübe gekennzeichnet. Daraus resultieren hohe dynamische und thermische Belastungen sowie aufgrund der im Werkzeugbau vorherrschenden komplexen Geometrien ein hoher Programmieraufwand. Die Schlichtbearbeitung dominiert mit einer durchschnittlich aufgewendeten Bearbeitungszeit von 22 h pro Werkstück.

Vor- und Nachteile der Achskonfigurationen

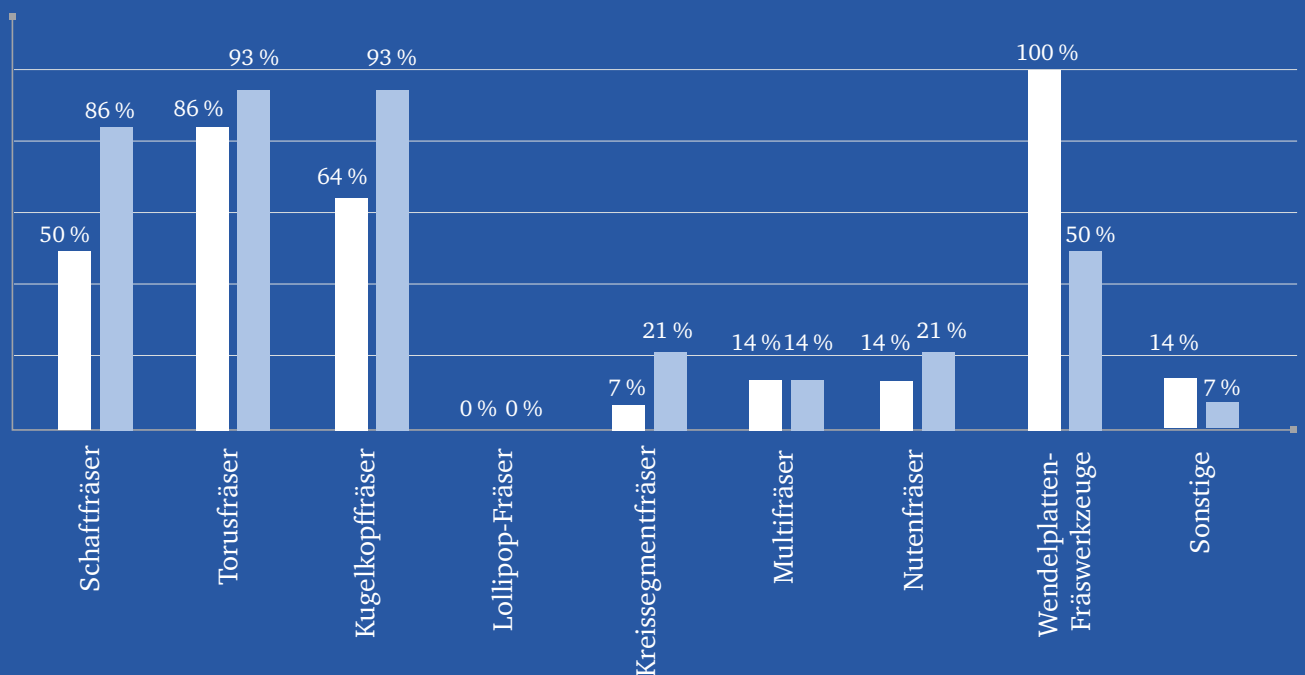
	3-achsig	3+2-achsig	5-achsig
Konstante Prozessparameter in allen Bereichen	--	-	++
Einsatz kurzer und damit stabiler Werkzeuge	--	+	++
Vermeidung von Mehrfachaufspannungen	--	++	++
Große Zeilenbreite durch den Einsatz von Torus- oder Tonnenfräswerkzeugen	--	-	++
Geringe Bearbeitungszeiten	-	○	+
Geometrische Flexibilität	--	+	++
Kollisionsgefahr	++	-	--
Verringerte Genauigkeit durch hohe Anzahl an Maschinenachsen	+	-	-
Programmieraufwand	++	○	--

++ sehr gut + gut ○ durchschnittlich - schlecht -- sehr schlecht

Welche Werkzeugformen setzen Sie beim Schrumpfen / Schlichten standardmäßig ein?

[Mehrfachnennung möglich]

Schruppbearbeitung ■
Schlichtbearbeitung ■



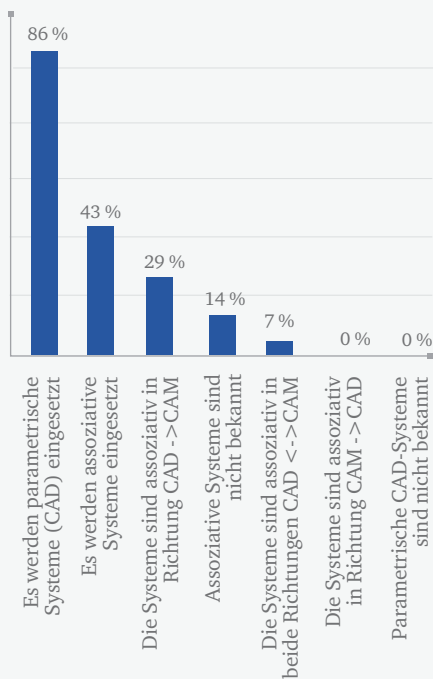


15

**verschiedene
CAM-Systeme sind insge-
samt bei dem befragten
Konsortium von 14 Unter-
nehmen im Einsatz**

**Fähigkeiten
CAD/CAM-Systeme**

[Mehrfachnennung möglich]



Computer-Aided Manufacturing

In der Produktionstechnik steht die Abkürzung CAM für Computer-Aided Manufacturing und beschreibt die computergestützte Steuerung von Produktionsanlagen und angeschlossener Peripherie. [4] Am Markt existiert derzeit eine Vielzahl an verschiedenen CAM-Systemen, deren Schwerpunkte technologisch und branchenspezifisch variieren. Von den 14 an der Umfrage zu eingesetzten Bearbeitungsstrategien beteiligten Unternehmen werden insgesamt 15 verschiedene CAM-Software-Produkte eingesetzt. Die Gründe hierfür sind vor allem die branchenabhängige Eignung unterschiedlicher CAM-Software-Produkte für die jeweiligen Programmieraufgaben, sowie eine oftmals historisch gewachsene Festlegung auf einen bestimmten Software-Typ. Werden die Eigenschaften der CAM-Systeme im Detail betrachtet, so fällt auf, dass die Funktion der automatischen Feature-Erkennung nicht bei allen Unternehmen genutzt wird. 57,1 % der befragten Werkzeugbaubetriebe setzen CAM-Systeme ein, die eine automatische Geometrieerkennung von einfachen Formen wie Bohrungen oder Taschen ermöglichen. Ein weiteres signifikantes Leistungsmerkmal eines CAM-Systems sind die Schnittstellen zu anderen Softwaresystemen in der CAD/CAM Datenkette. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Schnittstelle zwischen CAM-System und CAD-System (Computer-Aided Design). Oftmals wünscht der Kunde des Werkzeug- und Formenbaus auch kurzfristig Änderungen an den bereits übermittelten Konstruktionsdaten. Oftmals verursachen diese Änderungen signifikante Mehraufwände in der Prozessplanung und Fertigung, da die angepasste Geometrie vom CAD-System erneut an das CAM-System übergeben werden und an dieser Stelle eine Neuprogrammierung erfolgen muss. Eine effiziente Verknüpfung zwischen CAD und CAM ist daher vorteilhaft. 86 % der befragten Unternehmen setzen zur schnellen Umsetzung von Änderungen der Konstruktionsdatei parametrische Systeme ein. 43 % der Unternehmen geben an, dass eine Assoziativität zwischen CAD- und CAM-System besteht.

Des Weiteren muss zwischen der Richtung der Verknüpfung bei assoziativen Programmen unterschieden werden. Je nach System ist eine Verknüpfung von CAD zu CAM möglich, von CAM zu CAD sowie in beide Richtungen.

Der Prozess der CAM-Bahnplanung kann durch die Anbindung unterstützender Systeme weiter optimiert werden. Hierzu zählt beispielsweise die Anbindung von Technologiedatenbanken zur schnellen Auswahl geeigneter Schnittdaten. Ein hoher Anteil von 57 % der befragten Unternehmen nutzt bereits derartige Datenbanken. Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung des Planungs- und Fertigungsprozesses ist die Nutzung von Product Manufacturing Information, sogenannten PMI. Durch die Verwendung von PMI werden zusätzliche Fertigungsinformationen wie Toleranzen und Oberflächengüten mit der 3D-Datei des Werkstücks übermittelt, so dass auf klassische Werkstückzeichnungen verzichtet werden kann. PMI werden von knapp 29 % der befragten Unternehmen eingesetzt. Die in der eigentlichen Fräsbearbeitung erzielte Bauteilqualität wird aktuell durch zeit- und kostenintensive Messprozeduren im Anschluss an den Fräsprozess ermittelt. An dieser Stelle kann die digitale Maschinendatenerfassung und Visualisierung mit Hilfe des „Digitalen Zwillinges“ Prüfaufwände reduzieren und Messdaten allgemeinverständlich darstellen. Aus der zugrunde liegenden Studie geht allerdings hervor, dass der Innovationstreiber „Digitaler Zwilling“ von keinem der befragten Unternehmen zum heutigen Zeitpunkt eingesetzt wird.

Simulationen in der Fertigung

Der Begriff Simulation beschreibt das möglichst realitätsnahe Abbilden eines Systems mit dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell. [5] Im Rahmen des Werkzeugbaus bzw. in der Produktion allgemein werden die Abläufe von Fertigungsprozessen mit unterschiedlichen Schwerpunkten simuliert. Neben bereits etablierten Simulationen, wie etwa der Maschinensimulation bzw. Kollisionskontrolle in der CAM-Programmierung, sind im Bereich des Fräsens Abbildungen der Eingriffsbedingungen des Fräswerkzeugs oder eine Überprüfung und Optimierung der NC-Bahnen von Bedeutung. Letzteres wird im Folgenden näher beschrieben.

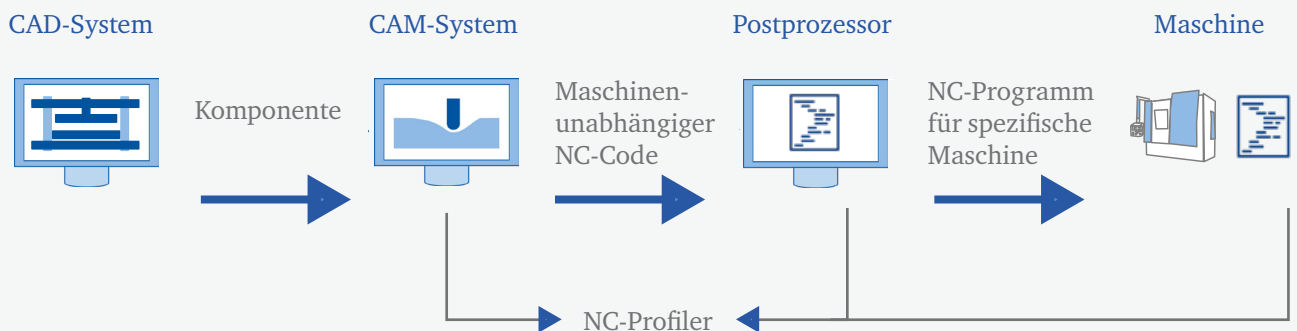
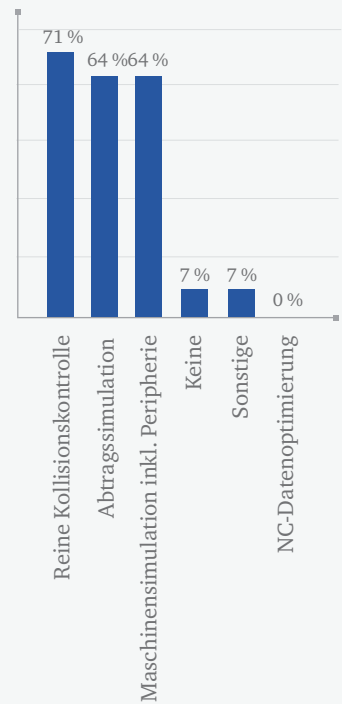
Die Vorgehensweise der NC-Bahn Simulation gliedert sich in mehrere Schritte. Zunächst muss die Maschinenkinematik aufgenommen und in der Simulationsumgebung abgebildet werden. Daraufhin kann der im CAM-System festgelegte Werkzeugweg analysiert werden, sodass ungünstige Werkzeugwege identifiziert werden können. Basierend auf der Maschinenkinematik können darüber hinaus die aus dem Werkzeugpfad resultierenden Achsbewegungen, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Ruck berechnet, analysiert und durch eine Anpassung der NC-Bahn oder Aufspannposition optimiert werden. Auch charakteristische Fehlerquellen wie etwa die Lage von Achsumkehrpunkten auf der Bauteiloberfläche können identifiziert und deren Einfluss auf das Fertigungsergebnis minimiert werden.

Das Ziel dieses Vorgehens ist demnach ein harmonisierter Werkzeugweg mit einem an die Maschine angepassten Bewegungsprofil. Die durch das Fraunhofer IPT entwickelte und vertriebene Software „NC-Profilier“ ermöglicht es Unternehmen, die beschriebenen Analyse- und Optimierungsaufgaben schnell und effizient innerhalb des eigenen Betriebsablaufs durchzuführen.

Die dargestellte Unterstützung der Prozessplanung durch geeignete Simulationssoftware ermöglicht es, Fehler in der Programmierung bereits vor dem eigentlichen Fräsen zu identifizieren und zu beheben. Aufwändige und kostenintensive Einfahrprozesse sowie Stillstandszeiten werden vermieden. Eine Reduktion der Fertigungskosten ist die Folge. Vor dem Hintergrund der genannten Vorteile setzt mit 71 % ein großer Teil der befragten Unternehmen bereits Materialabtrags- und Kollisionskontrollen in der CAM-Planung ein. In der Kollisionskontrolle wird von nahezu allen Unternehmen nicht nur das Werkstück und das Fräswerkzeug, sondern die gesamte Maschinenperipherie inkl. etwa Aufspannmitteln, Rundtischen und Linearachsen berücksichtigt. Demgegenüber führt keines der befragten Unternehmen eine Simulation hinsichtlich NC-Datenqualität oder der Eingriffsituation und dem daraus resultierenden Werkzeugverschleiß durch. Aktuelle Entwicklungen des Fraunhofer IPT in Form von industriell anwendbaren Software-Tools zur simulationsgestützten Prozessplanung haben das Ziel, das hiermit verbundene Potential für Industrieunternehmen zugänglich zu machen.

Eingesetzte Simulationwerkzeuge zur Analyse und Optimierung der CAM-Bahnplanung

[Mehrfachnennung möglich]





B -

Strategien, Fräswerkzeuge und CAM-Software

Moderne Software zur Prozessplanung ermöglicht die Verwendung innovativer Bearbeitungsstrategien sowie Werkzeugtechnologien zur Erzielung einer optimalen Bauteilqualität und Wirtschaftlichkeit.

Die Bearbeitung geometrisch komplexer Bauteile aus anspruchsvollen Werkstoffen basiert heutzutage auf dem intensiven Einsatz mehrachsiger Fräsprozesse, gestützt durch sogenannte Computer-Aided Manufacturing Software (CAM). Unter Berücksichtigung einer geeigneten Prozessauslegung zeichnet sich die Technologie des Fräsen durch die Erzielung einer hohen Bauteilqualität und Wirtschaftlichkeit aus. Insbesondere der Auswahl geeigneter Bearbeitungsstrategien, in Verbindung mit moderner Werkzeug- sowie Maschinenteknologie, kommt hierbei besondere Bedeutung zu.

Stand der Technik

Die der Studie zugrunde liegenden, aktuellen Umfrageergebnisse zeigen, dass heutige Fräsprozesse größtenteils auf 3- bzw. 3+2-achsigen Operationen beruhen. Insbesondere im Bereich des Schruppens beträgt der Anteil 3-achsiger Prozesse 49 %, der Anteil 3+2-achsiger Prozesse liegt bei 18 % und auf 5-achsige Fräsprozesse entfallen lediglich 7 %. Es kommen hauptsächlich die Bahnstrategien „Z-Konstant“ und „Restmaterial“ zum Einsatz. Laut Aussage der beteiligten Unternehmen liegt die intensive Nutzung 3-achsiger Schruppprozesse insbesondere in der vergleichsweise einfachen Bahnplanung und der hohen Prozesssicherheit begründet. In Folge können Schruppprozesse schneller auf der Bearbeitungsmaschine umgesetzt werden und darüber hinaus automatisiert ablaufen.

Im Bereich des Schlichtens ist eine ähnliche Verteilung der genutzten Achskonfigurationen wie beim Schruppen erkennbar. In erster Linie kommt ebenfalls eine 3-achsige Prozessführung zum Einsatz. Hauptsächlich kommen Bahnführungsstrategien wie „Z-Konstant“, „konstante Rautiefe“ oder „Restmaterial“ zur Anwendung. Die 3-achsige Schlichtbearbeitung zumeist komplex geformter Bauteiloberflächen bringt zahlreiche Vor- und Nachteile mit sich. So ermöglicht die 3-achsige Prozessführung beim Schlicht-

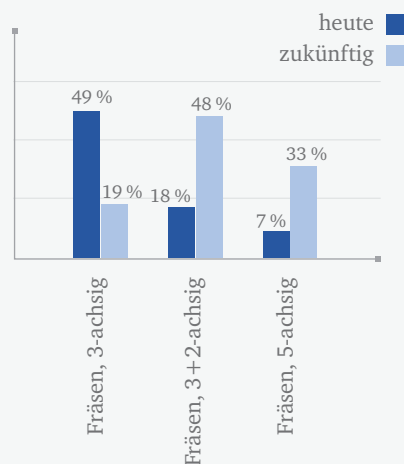
ten ähnlich dem Schruppen eine einfachere Bahnplanung und Kollisionskontrolle. Dem gegenüber stehen jedoch schwankende Eingriffsverhältnisse am Fräswerkzeug, welche oftmals in variierenden Schnittgeschwindigkeiten, Verschleißverteilungen und Oberflächengüten resultieren. 3+2-achsige bzw. simultan 5-achsige Prozesse werden heute meist nur dort eingesetzt, wo aufgrund geometrischer Gegebenheiten wie etwa Hinterschnitten eine höhere geometrische Flexibilität notwendig ist oder eine angepasste Bahnführung aus technologischen Gründen nicht vermieden werden kann.

Trends in der Schruppbearbeitung

Das Ziel im Schruppfräsen liegt hauptsächlich in einer Maximierung des Zeitspanvolumens bei gleichzeitiger Erhöhung der Werkzeugstandzeit. Während die simultan 5-achsige Prozessführung im Schruppen nur in speziellen Fällen sinnvoll ist, kann durch die Verwendung einer 3+2-achsigen Prozessführung bereits eine Optimierung beispielsweise der Restmaterialsituation erreicht werden. Dieser Trend bestätigt sich ebenfalls unter den Umfrageteilnehmern. 48 % der Teilnehmer gehen davon aus, dass zukünftig 3+2-achsige Prozesse im Schruppen vorherrschen werden, 33 % der Teilnehmer gehen zukünftig von einer überwiegend 5-achsigen Prozessführung aus.

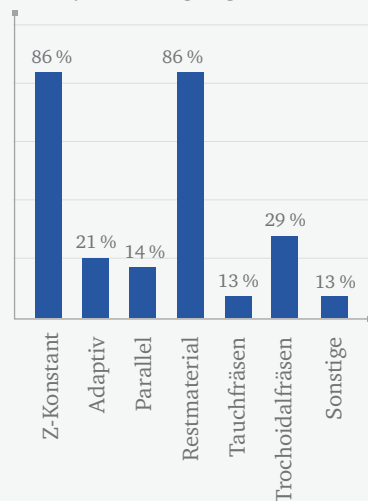
Eine innovative Bahnführungs- bzw. Schruppstrategie, welche in den letzten Jahren vor dem Hintergrund leistungsfähiger CAM-Systeme und zunehmend dynamischer Werkzeugmaschinen wachsende Bedeutung gewonnen hat, ist das sogenannte Trochoidalfräsen. Ziel des Trochoidalfräsen ist die Erhöhung von Zeitspanvolumen und Werkzeugstandzeit durch die Schruppbearbeitung unter Eingriffsbedingungen, welche denen des Schlichtfräsen ähneln. Hierzu wird das Fräswerkzeug soweit axial zugestellt, dass eine möglichst große effektive Schneidenlänge genutzt wird.

Welche Achskonfiguration herrscht Ihrer Meinung nach aktuell bzw. in 5-10 Jahren im Schruppen vor?

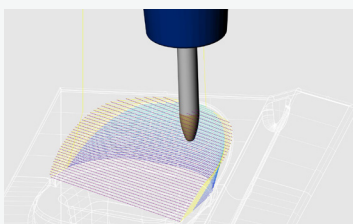
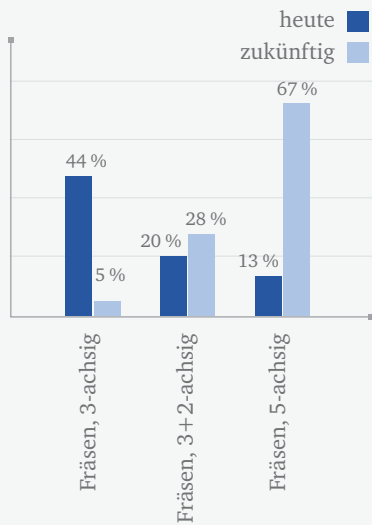


Welche Strategien setzen Sie aktuell hauptsächlich zum Schruppen ein?

[Mehrfachnennung möglich]



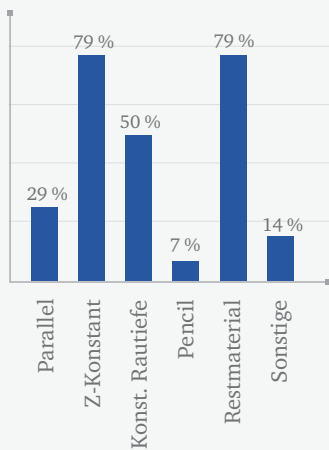
Welche Achskonfiguration herrscht Ihrer Meinung nach aktuell bzw. in 5-10 Jahren im Schlichten vor?



Bahnplanung einer Schlichtfräsoperation mittels Kreissegment- bzw. Tonnenfräser (Bahnabstand: 0,5 mm)

Welche Strategien setzen Sie aktuell hauptsächlich zum Schlichten ein?

[Mehrfachnennung möglich]



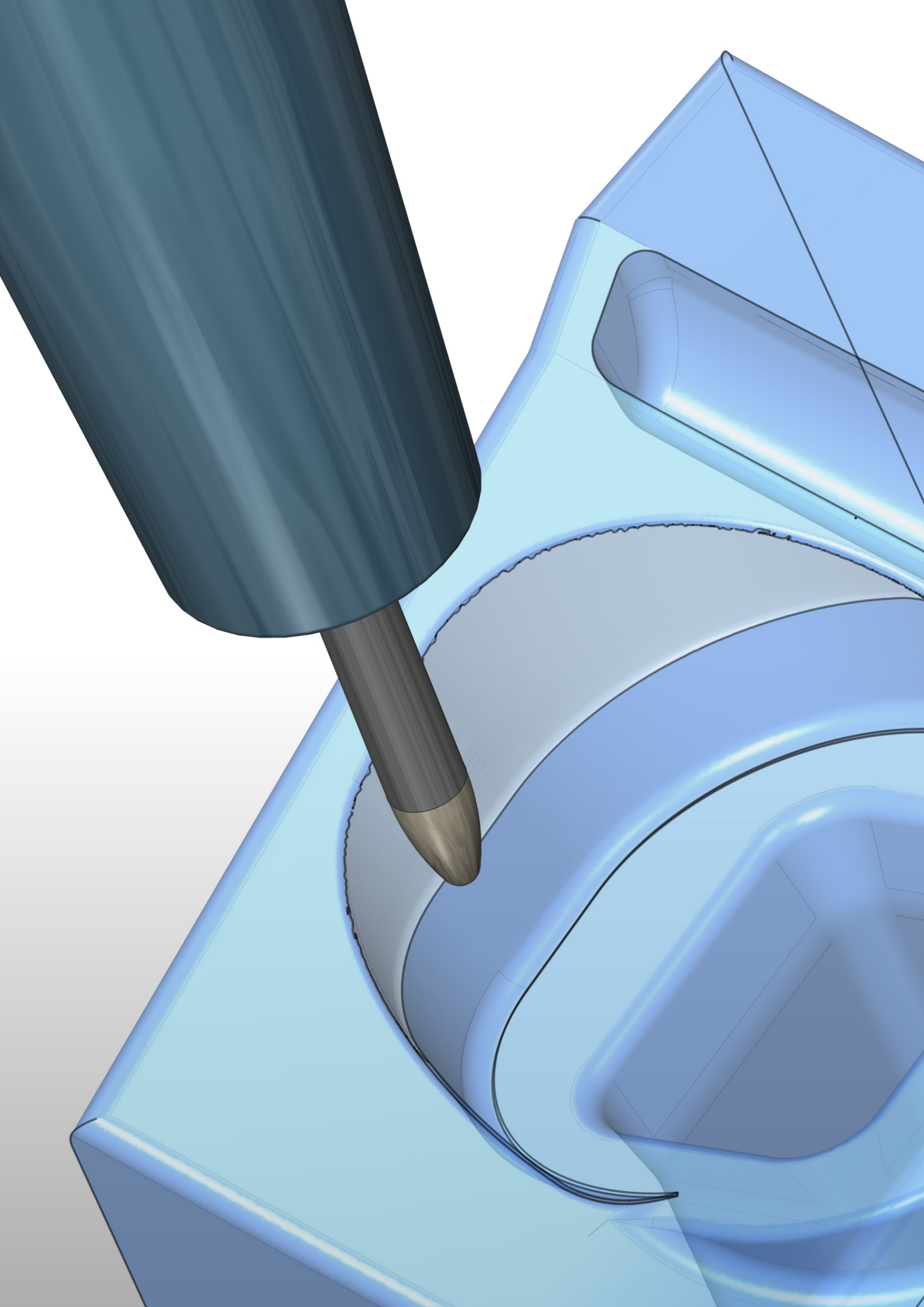
Im Anschluss wird eine kreisförmige Bewegung des Fräswerkzeugs mit einer linearen Vorschubbewegung überlagert und so eine trochoidale Werkzeugbahn erzeugt. Das Fräswerkzeug hinterlässt in Folge eine Nut, welche deutlich größer als der Werkzeugdurchmesser ist. Der Fräser selbst ist hierbei in jeder Schnittbewegung nur einer geringen seitlichen Zustellung bzw. einem niedrigen Umschlingungswinkel ausgesetzt und wird im Idealfall auf der gesamten Schneidlänge genutzt. Durch eine Optimierung der Fräswerkzeugbahn, beispielsweise durch speziell angepasste Bewegungen entlang von Spline-Kurven oder Vorschubanpassungen, können die Eingriffsverhältnisse weiter optimiert werden. Sind Steuerung und Maschine in der Lage, die notwendigen dynamischen Achsbewegungen sicher auszuführen, können ein hohes Zeitspanvolumen, eine geringe Zerspankraft und eine hohe Wirtschaftlichkeit erreicht werden.

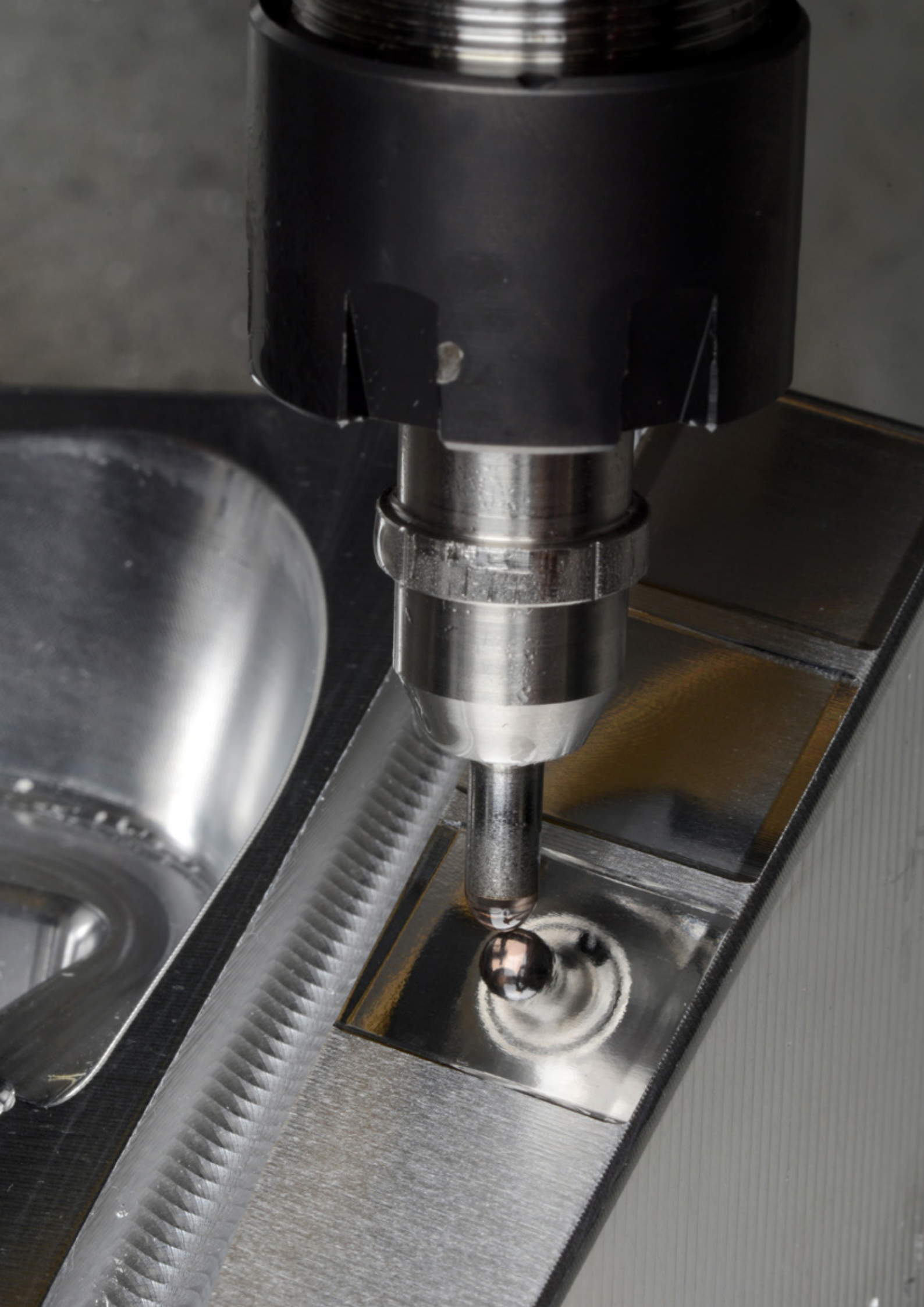
Eine weitere Alternative zu herkömmlichen Schruppprozessen stellt das sogenannte Tauchfräsen dar. Die Strategie des Tauchfräsens findet überwiegend dort Anwendung, wo die Stabilität des Fräsprozesses der limitierende Faktor in der Bearbeitung ist. Dies kann beispielsweise bei tiefen Kavitäten bzw. lang auskragenden Werkzeugen, sowie hochfesten Werkstoffen der Fall sein. Im Tauchfräsen erfolgt die Zustellung des Fräasers durch einen Versatz des Werkzeugs in der X-Y-Ebene, die anschließende Vorschubbewegung erfolgt durch das axiale Verfahren des Werkzeugs in Z-Richtung. Hierdurch können die wirkenden Kräfte hauptsächlich in axialer Richtung in Werkzeug und Spindel eingeleitet werden, was oftmals zu einer Erhöhung der Prozessstabilität führt. Nachteil des Verfahrens sind die vergleichsweise geringe Zerspanrate, sowie die starke lokale Belastung des Fräswerkzeugs im Bereich des stirnseitigen Eckenradius. Maßgeblich für die Optimierung der Eingriffsverhältnisse im Tauchfräsen, und damit des Zeitspanvolumens sowie des Werkzeugverschleißes, ist die Nutzung angepasster Zustellbewegungen des Fräswerkzeugs. So können beispielsweise springende Versatzbewegungen in der X-Y-Ebene zur Optimierung der Eingriffsverhältnisse genutzt werden.

Trends in der Schlichtbearbeitung

Ziel der Entwicklungen im Bereich des Schlichtfräsens ist hauptsächlich die Sicherstellung einer optimalen Oberflächengüte sowie Maßhaltigkeit am Werkstück. Gleichzeitig kann die geometrische Flexibilität durch eine 5-achsige Prozessführung deutlich erhöht werden. Entsprechend der Umfrageergebnisse ist auch unter den Umfrageteilnehmern ein deutlicher Trend in Richtung der simultan 5-achsigen Prozessführung erkennbar. So gehen 67 % der Umfrageteilnehmer davon aus, dass zukünftig eine 5-achsige Prozessführung im Schlichten vorherrschen wird. Aufgrund der hohen geforderten Oberflächengüten werden für das Schlichtfräsen gekrümmter Oberflächen heutzutage fast ausschließlich sogenannte Kugelkopffräser eingesetzt. Die Bearbeitung erfolgt hierbei zeilenweise, wobei meist geringe Bahnabstände eingehalten werden müssen.

Eine Möglichkeit den Bahnabstand und somit die Produktivität deutlich zu erhöhen, stellen sogenannte Tonnen- bzw. Kreissegmentfräser dar. Aufgrund des seitlich angeschliffenen, großen Werkzeugradius von bis zu 1000 mm kann der Bahnabstand bei gleicher kinematischer Rautiefe um mehrere Größenordnungen erhöht werden. Lange Zeit haben sich die mathematische Verrechnung, die Prozessführung und die Herstellung dieser Werkzeuge als schwierig erwiesen. Vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen hält die Werkzeugform jedoch zunehmend Einzug in bestehende CAM-Software Lösungen und kann mit einer Reihe von Bearbeitungsstrategien kombiniert werden. Der Fokus liegt im Werkzeug- und Formenbau beispielsweise auf der hochproduktiven Schlichtbearbeitung von Ebenen und Wandbereichen. Oftmals sind hier durch die Umstellung von Kugelkopf- auf Kreissegmentfräser Zeiteinsparungen von bis zu 80 % bei gleichbleibender Oberflächengüte realisierbar.





Maschinenintegrierte Oberflächennachbearbeitung

Innovative Werkzeugtechnologien für die maschinenintegrierte Nachbearbeitung gefräster Oberflächen.

Die Anforderungen seitens des Werkzeug- und Formenbaus liegen, neben einer hohen Bauteilqualität und schnellen Reaktionsfähigkeiten, vor allem in sehr hohen Oberflächenqualitäten. Aktuelle Zahlen belegen, dass polierte Oberflächen im Werkzeug- und Formenbau am häufigsten gefordert werden. Gerade bei Spritzgusswerkzeugen sind diese von besonderer Bedeutung. Die geforderte Qualität der Oberfläche wird durch den Abformprozess bedingt, wobei die Oberflächenstruktur der Werkzeugform auf das Kunststoffbauteil übertragen wird. Der aktuelle Trend liegt bei Rz-Werten kleiner 0,5 µm. Diese geforderte Oberflächenrauheit kann nicht ausschließlich durch einen Fräs- oder Erodierprozess erzeugt werden, sodass ein nachgelagerter Prozessschritt erforderlich ist. Derzeit werden für die Oberflächen-nachbearbeitung Fertigungsverfahren, wie beispielsweise das manuelle Polieren oder das maschinelle Oberflächenhämmern, angewendet. Diese Fertigungsverfahren weisen jedoch Nachteile hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit auf:

- Der manuelle Aufwand beim Polieren erzeugt lange Bearbeitungszeiten und somit einen zeitintensiven Nachbearbeitungsprozess.
- Für Sonderverfahren wie beispielsweise das Oberflächenhämmern werden zusätzliche Maschinenaggregate benötigt, das führt zu einem kostenintensiven Nachbearbeitungsprozess.

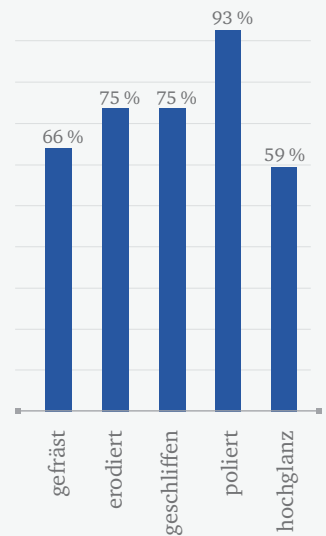
Die im folgenden vorgestellten Werkzeugkonzepte sollen eine Alternative zur Nachbearbeitung von gefrästen Bauteiloberflächen darstellen. Im Fokus stehen dabei einerseits ein Diamantdruckwerkzeug und andererseits ein Hartmetall-Kugelpfwerkzeug mit stark verrundeter Schneidkante. Durch den Kontakt des jeweiligen Werkzeugs mit der Bauteiloberfläche werden die Rauheitsspitzen, welche prozessbedingt nach der Fräsbearbeitung vorliegen, eingeebnet. Bei dem betrachteten Diamantwerkzeug drückt

dabei eine Diamantkugel auf die Bauteiloberfläche. Derzeit werden bereits ähnliche Werkzeugsysteme für rotationssymmetrische Bearbeitungen verwendet. Bei dem Hartmetallwerkzeug wirkt die große Verrundung der Schneidkante wie ein Drücksteg. Durch den großen Schneidkantenradius kommt es beim Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück zu keiner Spanabnahme. Stattdessen drückt die verrundete Schneidkante auf die Werkstückoberfläche und ebnet die Rauheitsspitzen ein. Beide Werkzeugkonzepte können dabei automatisiert auf konventionellen 3- oder 5-Achs-Bearbeitungszentren, ohne zusätzliche Maschinenaggregate, eingesetzt werden. Des Weiteren basiert die Programmierung der notwendigen Werkzeugbahnen auf der Fräsbearbeitung und erfordert nur geringe zusätzliche Aufwände bei der Arbeitsvorbereitung.

Das vorrangige Ziel beider Werkzeugkonzepte ist es dabei nicht das Polieren vollständig zu ersetzen. Stattdessen soll durch einen zusätzlichen Bearbeitungsschritt die Oberflächenrauheit nach der Fräsbearbeitung reduziert werden, sodass die nachgelagerte zeitintensive Polierbearbeitung verringert wird. Zudem werden durch den Druckprozess Druckeigenspannungen in die Oberflächenrandzone des Bauteils eingebracht, was die Verschleißfestigkeit der bearbeiteten Werkzeugform im Einsatz erhöht.

Was ist die geforderte Oberflächencharakteristik?

[Mehrfachnennung möglich]

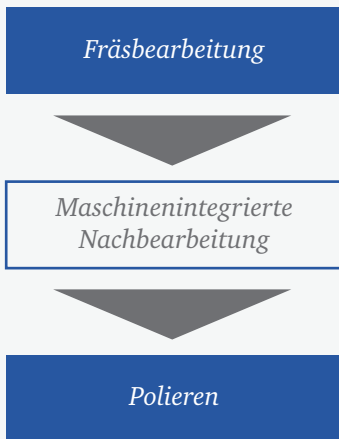


Quelle: EIP 2017

Bewertungskriterien	Manuelles Polieren	Oberflächenhämmern	Diamantdruckwerkzeug	Hartmetallwerkzeug
Investitionskosten	sehr gering	hoch	durchschnittlich	gering
Arbeitsvorbereitung	gering	hoch	durchschnittlich	gering
Flexibilität	hoch	durchschnittlich	durchschnittlich	gering
Bearbeitungszeit	hoch	durchschnittlich	durchschnittlich	gering
Oberflächenrauheit	gering	durchschnittlich	durchschnittlich	gering
Druckeigenspannungen	gering	hoch	durchschnittlich	gering
Härte	gering	hoch	durchschnittlich	gering

Legende: ● sehr hoch, ◐ hoch, ◑ durchschnittlich, ◒ gering, ○ sehr gering

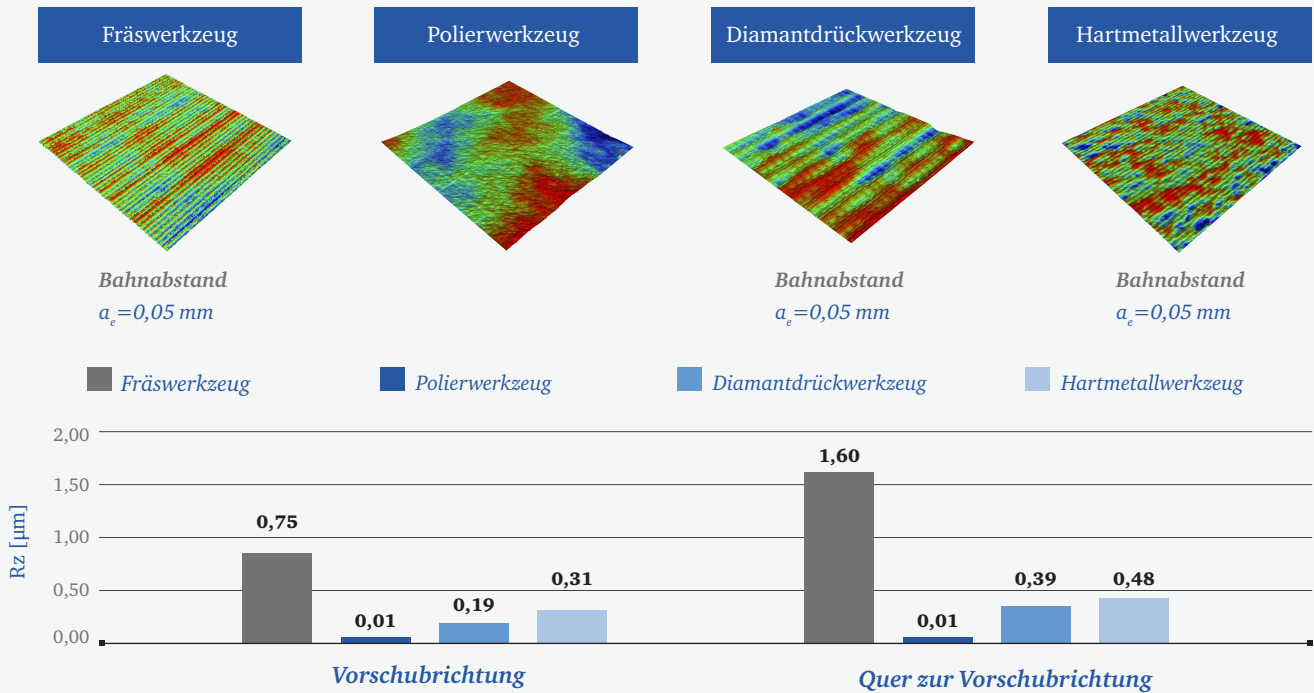
Innovative Prozesskette



Erste Untersuchungen wurden an dem Warmarbeitsstahl 1.2343 bereits durchgeführt. Dabei konnte die Oberflächenrauheit sowohl in Vorschubrichtung, als auch quer zur Vorschubrichtung, im Vergleich zur Fräsbearbeitung um mehr als 50 % reduziert werden. Die Oberflächenrauheit quer zur Vorschubrichtung bei der Anwendung der innovativen Werkzeugkonzepte hängt maßgeblich, wie bei der Fräsbearbeitung, von dem gewählten Bahnabstand ab. Durch eine Verringerung des Bahnabstandes kann somit die Oberflächenrauheit signifikant reduziert werden. Zusätzlich muss der Bahnabstand sowie der Werkzeugdurchmesser der vorhergehenden Fräsbearbeitung berücksichtigt werden. Aktuelle Untersuchungen zielen darauf ab, das optimale Verhältnis aus Bahnabstand bei der Fräsbearbeitung sowie der Oberflächennachbearbeitung zu ermitteln, um die gewünschte Oberflächenrauheit einzustellen. Dabei gilt es, die maximal möglichen Bahnabstände zu ermitteln, um die Bearbeitungszeiten sowohl bei der vorgelagerten Fräsbearbeitung als auch bei der Oberflächennachbearbeitung zu minimieren. Zudem wird auch durch die Steigerung der axialen Zustellung die resultierende Oberflächenrauheit reduziert. Damit einhergehend werden auch die resultierenden Druckeigenstressungen in der Oberflächenrandzone weiter gesteigert.

Durch die optimale Einstellung der genannten Prozessstellgrößen ist es somit möglich, einerseits die Oberflächenrauheit als auch andererseits die resultierenden Druckeigenstressungen hinsichtlich der spezifischen Anwendung gezielt einzustellen.

Im Vergleich zu einer polierten Oberfläche zeigen sich dennoch erhebliche Unterschiede bei der Rauheit, aufgrund der Welligkeit nach der Bearbeitung. Dennoch ist davon auszugehen, dass durch eine anschließende Oberflächennachbearbeitung mittels einer der hier vorgestellten Werkzeugkonzepte eine signifikante Reduzierung des Polieraufwands erzielt werden kann. In zukünftigen Prozessketten im Werkzeug- und Formenbau könnte somit im Anschluss an die Schlichtfräsbearbeitung auf dem gleichen Bearbeitungszentrum eines der beiden Werkzeugkonzepte angewendet werden. Dabei müssen lediglich der Bahnabstand sowie die axiale Zustellung bei der bestehenden CAM-Bahnplanung angepasst werden, was minimale Mehraufwände verursacht. Die hier vorgestellten innovativen Werkzeugkonzepte bieten somit die Möglichkeit zur Reduzierung hoher Polieraufwände bei gleichzeitig geringen Investitionskosten und Rüstaufwänden.

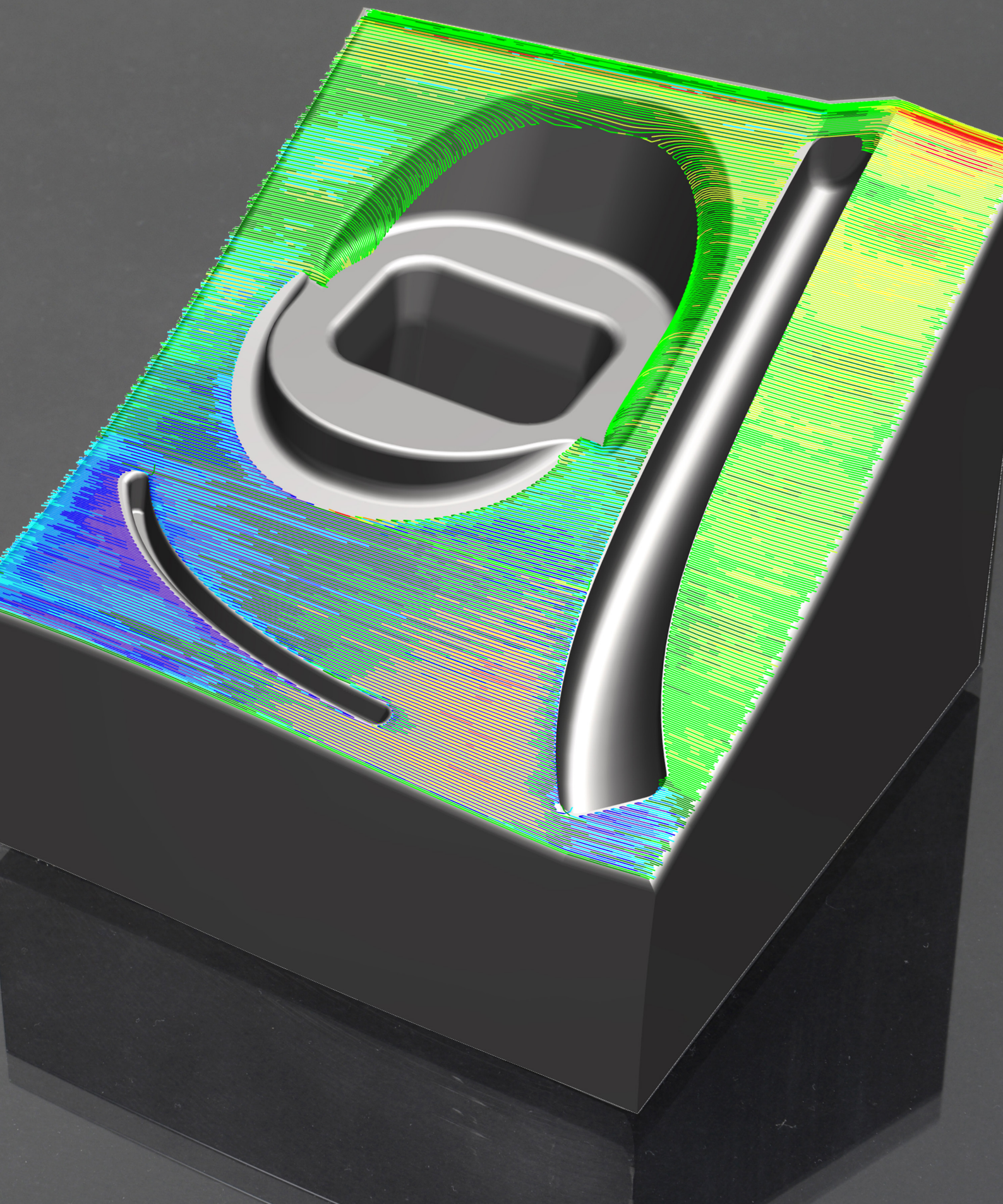


Werkstoff: 1.2343 (54 HRC)

Bahnabstand Ausgangsoberfläche: $a_e = 0,2$ mm

Werkzeugdurchmesser: $D = 4$ mm





Potential des „Digitalen Zwillings“ im Werkzeugbau

Die orts aufgelöste Visualisierung von Maschinendaten ermöglicht die einfache Beurteilung der erzielten Bauteilqualität und eine Reduktion von Prüfaufwänden.

Im Zuge des Megatrends Industrie 4.0 erfolgt eine fortschreitende Digitalisierung industrieller Prozesse. Während in der Branche des Werkzeug- und Formenbaus die Potentiale der Digitalisierung vor allem zur Optimierung der Fertigungslogistik und zur Steigerung des Automatisierungsgrads erschlossen werden, bleiben wertschöpfende Bearbeitungsprozesse wie das Fräsen bisher unberührt von der neuen industriellen Revolution. Neben dem Trend der Industrie 4.0 wird gleichzeitig ein starker Trend hin zu komplexer werdenden simultanen 5-Achs Fräsprozessen, sowie hin zum Einsatz schwer zerspanbarer Werkstoffe für Werkzeuge und Formen beobachtet. Um zukünftig trotz der gegebenen Herausforderungen und unter Einhaltung der geforderten Qualität wirtschaftlich fertigen zu können, müssen die Potentiale digitalisierter Produktion durch Prozessdatenerfassung und -analyse genutzt werden.

Ergebnisse der Umfrage

Die der Studie zugrunde liegende Umfrage zeigt, dass ca. 50 % aller beteiligten Unternehmen eine Online-Überwachung der Fertigungsprozesse durchführt. Demzufolge werden in zahlreichen Unternehmen keine Daten zu den Fertigungsprozessen erhoben und gespeichert. Treten Fehler wie Maßabweichungen auf, wird eine anschließende Ursachenfindung durch die mangelnde Prozessdatenbasis erschwert. Die Umfrage zeigt des Weiteren, dass die Prozessüberwachung hauptsächlich zur Erkennung des Werkzeug- und des Spindelzustands durchgeführt wird. 36 % der an der Umfrage beteiligten Unternehmen betreiben eine Werkzeugverschleißüberwachung und 43 % eine Werkzeugbruchererkennung. Zudem überwachen 43 % der Unternehmen den Spindelzustand der Werkzeugmaschine. Keines der an der Umfrage beteiligten Unternehmen erfasst gezielt Daten aus der Maschinensteuerung, um z.B. die Antriebsströme der Achsen oder der Achspositionen zur Auswertung und Analyse der Fertigungsprozesse heranzuziehen. Die

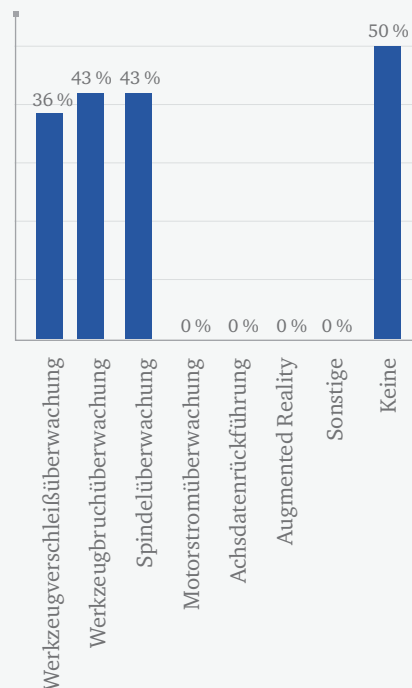
Studie zeigt, dass bisherige Entwicklungen im Bereich des „Digitalen Zwillings“ nicht berücksichtigt werden. Der „Digitale Zwilling“ ist ein digitales Abbild des tatsächlich gefertigten Bauteils, welches durch die Anreicherung von erfassten Rohdaten mit Prozesswissen und modellbasierter Analyse geschaffen wird. Der „Digitale Zwilling“ enthält demzufolge nicht nur Prozesszustandsdaten, sondern Bauteilzustandsdaten. Dass bisher keine „Digitalen Zwillinge“ durch Prozessdatenerfassung und -analyse erschaffen werden, führt dazu, dass Fertigungsprozesse noch immer eine Black-Box sind. Inwiefern das gefertigte Werkstück die Anforderungen an Oberflächengüte sowie Form und Maßstreuung erfüllt, kann demzufolge nur durch eine abschließende, zeitaufwändige Qualitätsprüfung bestimmt werden.

Maschinendatenerfassung

Das komplexe Zusammenspiel vieler Einflussgrößen, wie z.B. lokaler Werkzeugverschleiß, Positionierfehler der Maschine, Formfehler des Fräswerkzeugs und nicht zuletzt die dynamische Zerspankraft beim Fräsen komplexer Werkzeuge und Formen, entscheidet über die Qualität des Werkstücks. Damit diese Einflussgrößen durch eine Datenverarbeitung berechnet werden können, müssen im ersten Schritt relevante Rohdaten erfasst werden. Dazu gehören z.B. Achspositionen, Antriebs- und Spindelströme, welche aus der Maschinensteuerung ausgelesen werden können. Je nach Steuerungshersteller sind verschiedene Systeme erhältlich, welche mit spezifischen Schnittstellen der Steuerung kommunizieren und Abstraten von bis zu 500 Hz ermöglichen. Diese Systeme liefern zumeist auch Software zur Verarbeitung und Analyse der ausgelesenen Daten. Hauptsächlich können mithilfe dieser Software-Systeme Grenz- und Schwellwerte definiert werden, bei deren Überschreiten z.B. der Wechsel eines verschlissenen Werkzeugs initiiert werden kann.

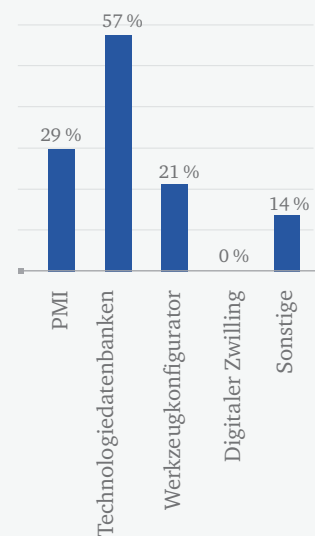
Einsatz der Online-Prozessüberwachung

[Mehrfachnennung möglich]



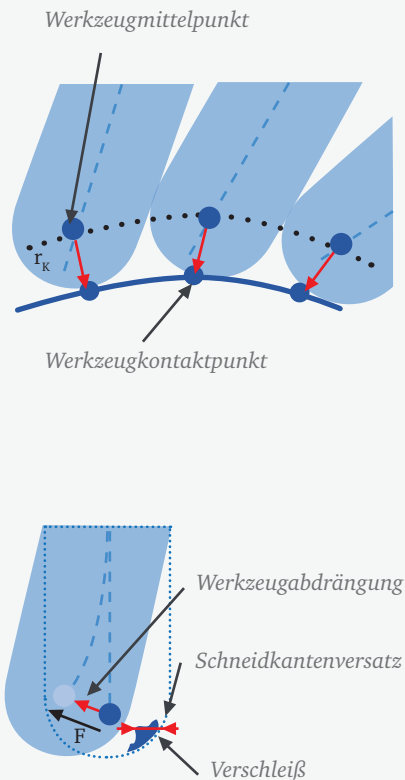
Zusätzliche Daten für die CAM-Prozessplanung

[Mehrfachnennung möglich]



Digitaler Zwilling

In den erfassten Rohdaten sind in den meisten Fällen noch nicht die benötigten Informationen zu erkennen. Zum einen liegen alle Daten zunächst nur als Zeitreihe vor, die nur schwer zu interpretieren ist. Wird eine Zustandsgröße wie z.B. die Zerspankraft zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasst, ist zunächst unklar, wo genau am Bauteil diese gewirkt hat. Zum anderen besteht stets die Herausforderung, dass Daten nicht direkt die gewünschte Information enthalten und diese erst extrahiert werden muss. Damit aus den erfassten Rohdaten wie z.B. den Positionswerten der Maschinen, Informationen über den Bauteilzustand wie z.B. Maßabweichungen gewonnen werden können, müssen Daten deshalb gezielt weiterverarbeitet werden.



Damit ein Ortsbezug der erfassten Maschinendaten hergestellt werden kann, werden die Achspositionen erfasst. Zur Verarbeitung der Achsposition wird die genaue Achskonfiguration der Werkzeugmaschine sowie die Fräswerkzeuglänge berücksichtigt, wodurch die Position des Fräswerkzeugs im Werkstückkoordinatensystem auch bei der simultanen 5-Achs Fräsbearbeitung erfasst werden kann. Hierzu werden die Achskoordinaten mittels Translation und Rotation miteinander verrechnet. Das Ergebnis der Berechnungen ist der Werkzeugpfad, wie er tatsächlich von der Maschine abgefahren wurde. Anhand des gewonnenen Werkzeugpfads können bereits erste Vergleiche zwischen Soll-Bahn und Ist-Bahn durchgeführt werden, welche eine Einschätzung der Maschinengenauigkeit ermöglichen. Ist der durch das CAM-System berechnete Pfad fehlerhaft, können dadurch verursachte Fehler jedoch nicht identifiziert und im „Digitalen Zwilling“ berücksichtigt werden.

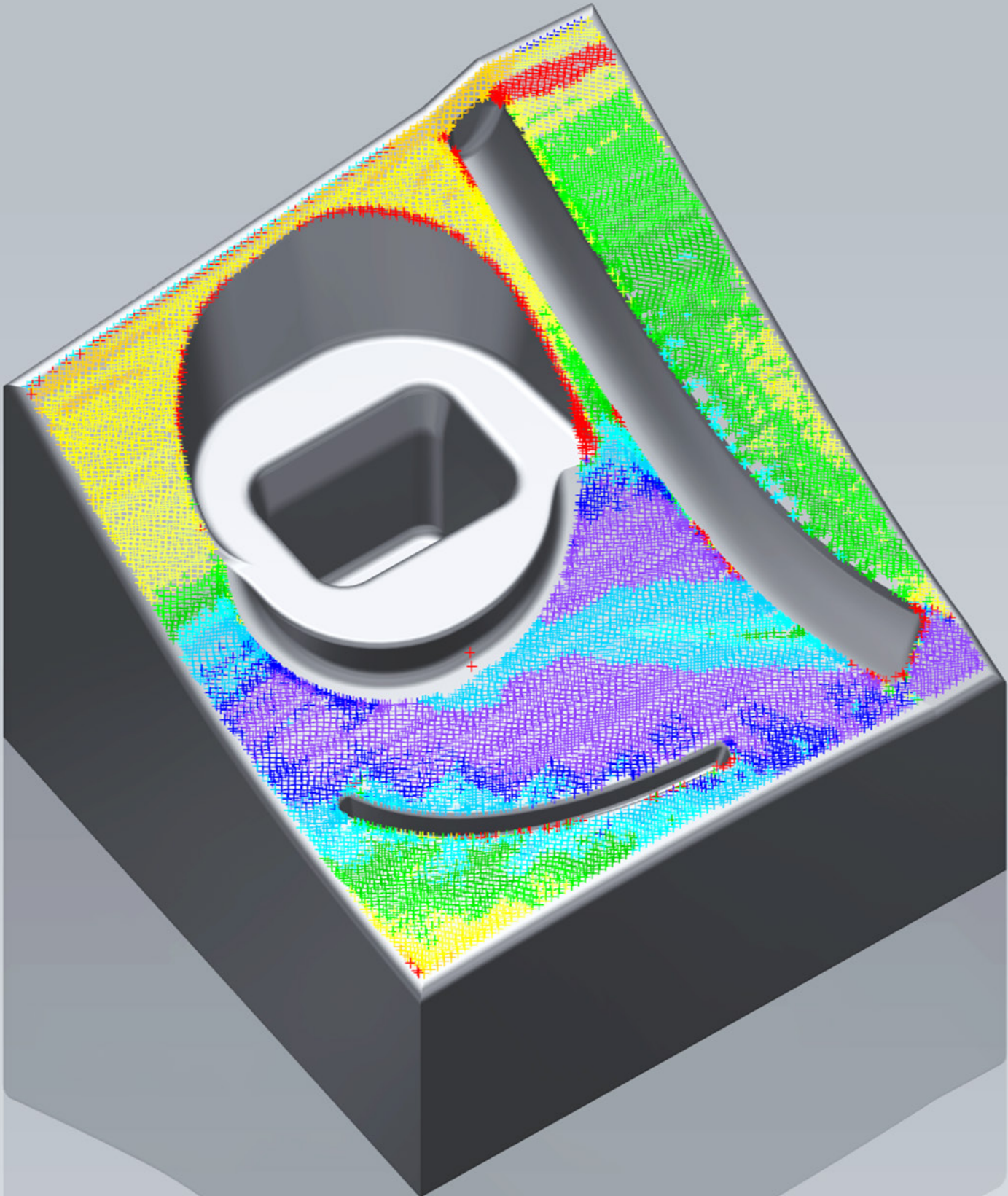
Damit die Geometrie des gefertigten Bauteils jedoch genau bestimmt werden kann, muss mit Hilfe einer geeigneten Methode zur Radiuskompensation der Kontaktpunkt zwischen Fräser und Werkstück berechnet werden. Mithilfe dieser Methoden wird der oberflächenerzeugende Bereich eines Kugelkopffräswerkzeugs und damit der Kontaktpunkt Fräswerkzeug-Werkstück sehr genau bestimmt.

Durch die Berechnung der Abweichung des ermittelten Kontaktpunkts zum nominalen CAD-Modell, kann nun die Maßabweichung des Bauteils bestimmt werden.

Mit Kenntnis des Kontaktpunkts von Werkzeug und Werkstück, kann darüber hinaus der Eingriffsbereich des Fräswerkzeugs bestimmt werden. Die hierdurch gewonnene Information ermöglicht abzuschätzen, an welcher Stelle des Fräasers Verschleiß auftritt und die Verteilung des Werkzeugverschleißes entlang der Schneide modellbasiert zu berechnen. Eine auf der Verschleißverteilung basierende Verrechnung der verschleißbedingten lokalen Reduktion des Werkzeugdurchmessers sowie der durch den Verschleiß verstärkten Fräserabdrängung kann mit in die Geometrieberechnung einfließen, womit die Genauigkeit der Geometriebestimmung signifikant erhöht wird. Auf Basis des hier vorgestellten Vorgehens zur Datenauswertung wird mit im Prozess akquirierten Maschinendaten die Geometrie des Bauteils berechnet. Die Genauigkeit der datenbasierten Geometrieberechnung beträgt in Abhängigkeit der verwendeten Werkzeugmaschine bis zu 10 μm .

Fazit

Der „Digitale Zwilling“ hat seinen Weg noch nicht in die industrielle Anwendung gefunden. Bisher sind noch keine Systeme zur gezielten Datenverarbeitung verfügbar und neue Ansätze werden nach heutigem Stand erst im Forschungsbereich untersucht. Welche Potentiale durch den „Digitalen Zwilling“ realisiert werden können, wurde in der vorliegenden Studie gezeigt. Hierbei wurde die prozessdatenbasierte Geometrierfassung fokussiert. Durch die modellbasierte Verarbeitung von Prozessdaten kann ein digitales Abbild des gefertigten Bauteils mit einer Genauigkeit von bis zu 10 μm erstellt werden. Dies ermöglicht die Einsparung von Prüfaufwänden und Try-out Zyklen von fehlerhaft gefertigten Bauteilen.





Vergleich der Leistungsfähigkeit des Fräsens anhand eines Demonstrators

Ein repräsentativer Demonstrator bildet die Grundlage für den Vergleich verschiedener Bearbeitungsstrategien unter Berücksichtigung zahlreicher Einflussfaktoren.

Die technologische Leistungsfähigkeit beschreibt die Bewertung von Prozessen hinsichtlich ihrer Produktivität, Qualität und Flexibilität. Im Kontext des Fräsprozesses sind daher eine Vielzahl an Einflussfaktoren sowie deren Zusammenwirken bei der Bearbeitung des Werkstücks zu berücksichtigen. So sind neben den charakteristischen Kenngrößen wie Bearbeitungszeit und erzielter Oberflächen- und Formgenauigkeit auch der Verschleiß der Fräswerkzeuge und der daraus resultierende Einfluss auf die Kosten von Bedeutung. Zur Identifizierung eines effizienten und produktiven Fräsprozesses bietet sich daher an, einen Vergleich verschiedener Bearbeitungsstrategien mittels eines repräsentativen Demonstrators durchzuführen. Dieser ist durch die Berücksichtigung aktueller geometrischer Anforderungen des Werkzeug- und Formenbaus sowie entsprechend geringe Toleranzen gekennzeichnet. Im Rahmen der durchgeführten Studie wurden vier aufeinander aufbauende Schritte zur Bewertung der Bearbeitungsstrategien durchgeführt. Zunächst muss ein geeigneter Demonstrator definiert werden, sodass er die durchschnittlichen Anforderungen des Unternehmens repräsentiert. Anschließend müssen Bewertungskriterien festgelegt werden, mit denen eine ganzheitliche Beschreibung der technologischen Leistungsfähigkeit gewährleistet ist. Schließlich müssen die Demonstratoren mit verschiedenen Bearbeitungsstrategien gefertigt werden, sodass abschließend ein Vergleich der Werkstücke hinsichtlich Qualität und benötigter Fertigungszeit möglich ist. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte detailliert beschrieben.

Definition eines Demonstrators

Für eine den Anforderungen entsprechende Festlegung des Demonstrators müssen zunächst die allgemeinen Rahmenbedingungen aus dem Werkstückspektrum abgeleitet werden. Zunächst sollte der Fokus dabei hauptsächlich auf der zu fertigenden Werkstückgröße und dem Werkstoff liegen. Anschließend kann eine an die Produktanwendungen des Unternehmens angepasste Geometrie abgeleitet werden. Der Demonstrator sollte dabei repräsentative Elemente des Werkzeug- und Formenbaus enthalten, wie etwa:

- 3D-Formflächen
- Rippengeometrien
- Enge Kavitäten
- Hinterschnitte
- Bohrungen
- Tiefe Taschen
- Kleine Ecken

Bei der Festlegung der geometrischen Form des Demonstrators spielen die Komplexität und die Dimensionen der einzelnen Geometriefeatures, wie bspw. Radien und Stege eine Rolle. Bei der durchgeführten Studie des Fraunhofer IPT wurde ein Demonstrator in Zusammenarbeit mit Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen des Werkzeug- und Formenbaus entwickelt. Der Demonstrator beinhaltet geometrische Elemente, die verschiedenen Anwendungsfällen zugeordnet werden können, wie auf folgender Doppelseite zu sehen ist.

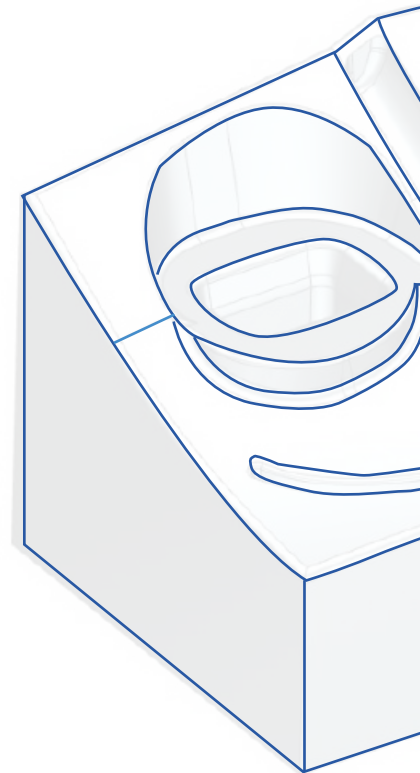


Blechverarbeitungs- werkzeuge

- Hohes Werkzeugvolumen
- Filigrane Konturen und scharfe Kanten
- Hoher Anteil an manueller Nacharbeit

Warmmassivumform- werkzeuge

- Anspruchsvolle geforderte Form- und Lagetoleranzen
- Hohe Formkomplexität
- Schlechte Zugänglichkeit
- Thermische Beanspruchung



Spritzgusswerkzeuge

- Anspruchsvolle geforderte Form- und Lagetoleranzen
- Hohe Formkomplexität
- Hohe Oberflächengüte

Druckgusswerkzeuge

- Anspruchsvolle Form- und Lagetoleranzen
- Hohe Formkomplexität
- Hohe Materialbeanspruchung

Kaltmassivumformwerkzeuge

- Anspruchsvolle Form- und Lagetoleranzen
- Hohe Formkomplexität
- Schlechte Zugänglichkeit



Festlegung von Bewertungskriterien

Bei den Bewertungskriterien müssen verschiedene Aspekte der spanenden Bearbeitung berücksichtigt werden. So ist neben der Produktivität vor allem die erzielte Werkstückqualität von hoher Bedeutung. Im Folgenden werden Beispiele für Bewertungskriterien genannt, die individuell an den jeweiligen Anwendungsfall anzupassen und zu gewichten sind. Bereits die gewählte Prozessabfolge aus Schruppen, Vorschlichten, Schlichten sowie der Wärmebehandlung hat einen maßgeblichen Einfluss auf die erzielte Wirtschaftlichkeit und Bauteilqualität. Darüber hinaus spielen die gewählten Bearbeitungsstrategien, Werkzeuge und Technologiedaten innerhalb der einzelnen Prozessschritte eine maßgebliche Rolle. Schließlich wirken sich der gewählte Maschinentyp sowie die Achskonfiguration, Spannmittel und Referenzvorgänge auf die Qualität des Fräsprozesses aus.



Bei der Produktivität und Wirtschaftlichkeit ist die absolute Bearbeitungszeit relevant. Des Weiteren ist das Verhältnis von Neben- und Hauptzeit von Bedeutung. Während unter der Hauptzeit laut Definition ein direkter Fortschritt in Bezug auf das Fertigungsergebnis erzielt werden muss, beschreibt die Nebenzeit alle mittelbaren Vorgänge, wie Spannen, Messen und Ausrichten und ist somit nicht als produktive Zeit zu werten. [6] Eine gute Bearbeitungsstrategie zeichnet sich hierbei durch einen hohen Hauptzeitanteil aus, wobei der absolute Wert der Hauptzeit möglichst gering sein sollte.

Bei der Bauteil- und Prozessqualität lassen sich als Vergleichsgrößen auf qualitativer Ebene die Prozessstabilität nennen und auf quantitativer Ebene einzelne zu messende Kenngrößen wie die Oberflächenrauheit, sowie die erzielten Maß-, Form- und Lagetoleranzen. Während von den Unternehmen eine hohe Prozesssicherheit anzustreben ist, müssen die quantitativen Vergleichsgrößen entsprechend des Werkstückspektrums und den daraus resultierenden Anforderungen festgelegt werden.

Fertigung des Demonstrators

Bei der Fertigung der Demonstratoren ist darauf zu achten, dass diese unter regulären Fertigungsbedingungen stattfindet, um eine größtmögliche Aussagekraft und Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleisten zu können. Von einer gesonderten Fertigungsumgebung ist daher abzusehen. Zudem sollte eine standardisierte Protokollierung des Fertigungsablaufs sowie eine einheitliche Datenerfassung erfolgen.

Im durchgeführten Projekt zum Vergleich der verschiedenen Bearbeitungsstrategien zeigte sich, dass die teilnehmenden Unternehmen auf verschiedene Bearbeitungsstrategien setzten. So wurden beispielsweise verschiedenste Schrupp- und Schlichtstrategien in der CAM-Bahnplanung verwendet. In Folge kamen auch deutlich unterschiedliche Fräswerkzeugtypen zum Einsatz. Dementsprechend unterschiedlich waren die Ergebnisse, die im Folgenden beschrieben werden.

Bewertung der Ergebnisse

Im Rahmen der durchgeführten Studie zeigte sich, dass die Bearbeitungszeit stark variierte. Die Gründe hierfür lagen in unterschiedlichen CAM-Bahnplanungen und gewählten Prozessparametern. Einen maßgeblichen Einfluss stellte in diesem Zusammenhang auch die individuelle Erfahrung des CAM-Programmierers und des Maschinenbedieners dar. Eine effiziente Bahnplanung ist hinsichtlich Produktivität und Qualität essentiell. Ein Vergleich der realen Bearbeitungszeit mit der simulierten Bearbeitungszeit des CAM-Programms zeigte eine große Abweichung. Bei der Bearbeitung eines Werkstoffs mit einer Härte von 50 HRC erzielten die CAM-Programmierer der teilnehmenden Unternehmen eine durchschnittliche Bearbeitungszeit von 389 Minuten. In Realität zeigte sich jedoch, dass die Bearbeitung 44 Minuten länger dauerte, sodass eine Abweichung zwischen Plan- und Realzeit von 13 % zu verzeichnen war.

Bei der Bearbeitung eines Werkstoffs mit einem Härtewert von 60 HRC zeigte sich eine vergleichbare Tendenz. Die prognostizierte Bearbeitungszeit lag bei durchschnittlich 380 Minuten, wohingegen die reale Bearbeitungsdauer bei 460 Minuten lag. Die Zeitdifferenz von 80 Minuten entspricht somit einer Abweichung von 21 %. Neben den prognostizierten und realen Bearbeitungszeiten ist zudem eine Betrachtung der Kosten von Interesse. Die Kosten für die eingesetzten Fräswerkzeuge variierten bei den an dem Projekt teilnehmenden Unternehmen in einem Bereich von knapp 100 Euro bis hin zu 600 Euro. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Unternehmen unterschiedliche Verrechnungsarten verwendeten, sodass eine anteilige Werkzeugkostenbetrachtung nicht zwingend gegeben war und dass manche der eingesetzten Werkzeuge noch weiterverwendet werden konnten. Neben dem maßgeblichen Aspekt des Werkzeugverschleißes spielten zusätzlich die gewählten Fräswerkzeuglieferanten sowie die jeweiligen Kostenstrukturen des Unternehmens eine Rolle.

Auch hinsichtlich der Bauteilqualität waren deutliche Unterschiede zwischen den gefertigten Demonstratoren erkennbar. So bewegte sich die Oberflächenrauheit in einem Bereich von 0,8 bis 5,2 μm . Die durchschnittliche Oberflächenrauheit hatte einen Wert von 2,7 μm . Bei den geometrischen Formabweichungen lag der Minimalwert bei 0,01 mm wohingegen der Maximalwert bei 0,23 mm lag. Dies zeigt ebenfalls, dass die eingesetzten Betriebsmittel sowie die Werkzeugmaschine neben Kosten und Bearbeitungsdauer auch Einfluss auf die zu erreichende Qualität haben.

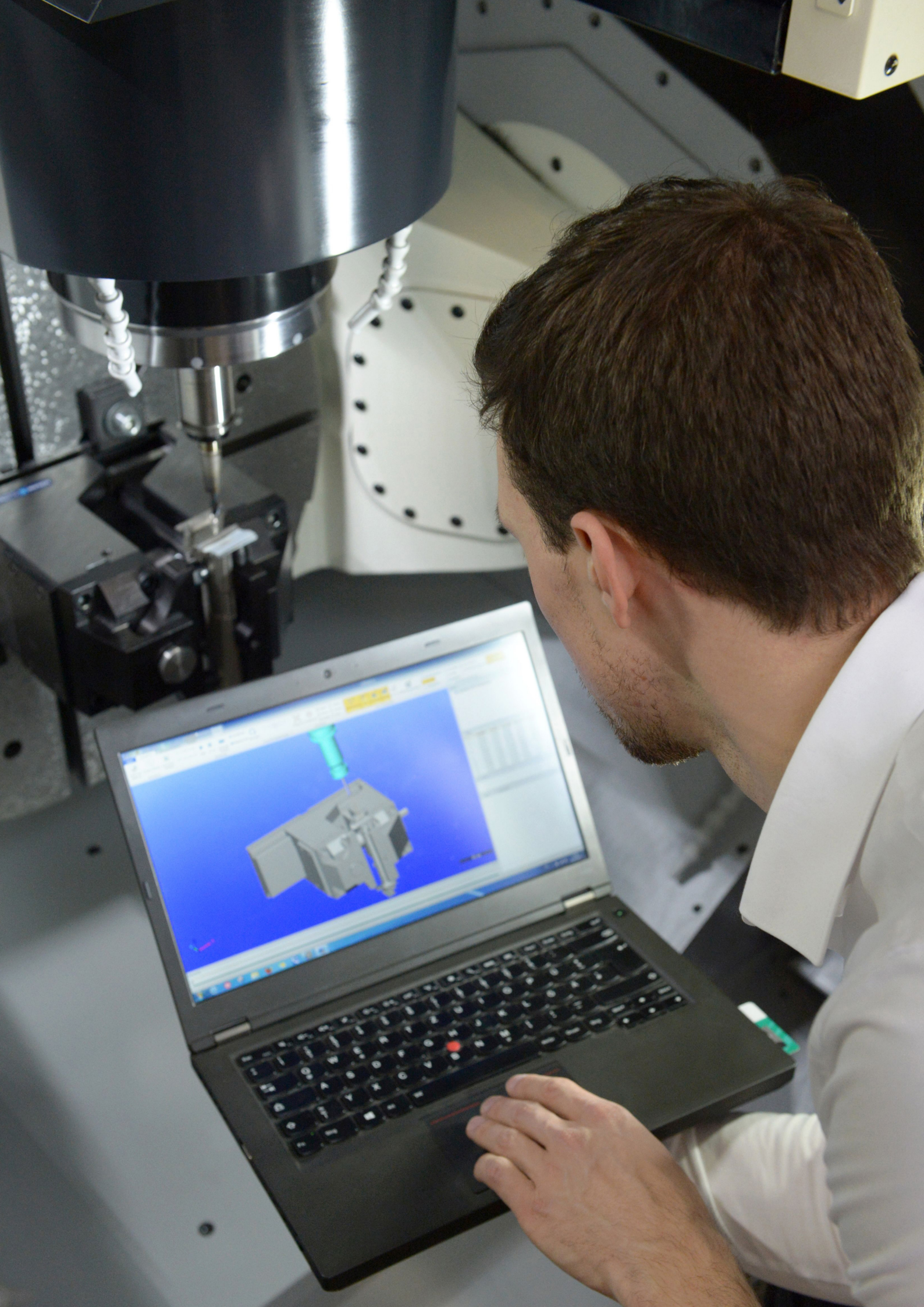
Neben der Beurteilung der Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Qualität der Fräsbearbeitung gaben die Studienteilnehmer zusätzliche Herausforderungen in der Prozessplanung und -durchführung an. Hierzu zählten beispielsweise die Empfindlichkeit der Prozessplanung gegenüber der Qualität der CAD-Daten oder das notwendige Nacharbeiten fehlerhafter Bauteile.

Die Auswertung der Studienergebnisse ermöglichte die Identifikation von Best-Practice Bearbeitungsstrategien basierend auf dem durch die Unternehmen verwendeten Stand der Technik. Hieraus ließ sich jedoch auch in Teilaspekten deutlicher Bedarf zur Integration der in dieser Studie beschriebenen, innovativen Frästechnologien erkennen. Auf diese Weise können Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Bauteilqualität zukünftig weiter gesteigert werden.



21 %

**beträgt die Abweichung
der realen von der
prognostizierten
Bearbeitungszeit**



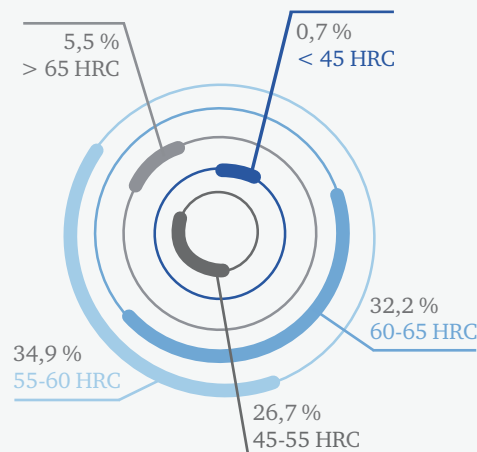
Ausblick

Die Anforderungen an den Werkzeug- und Formenbau werden in Zukunft weiterhin steigen. Eine technologische Weiterentwicklung ist daher essentiell.

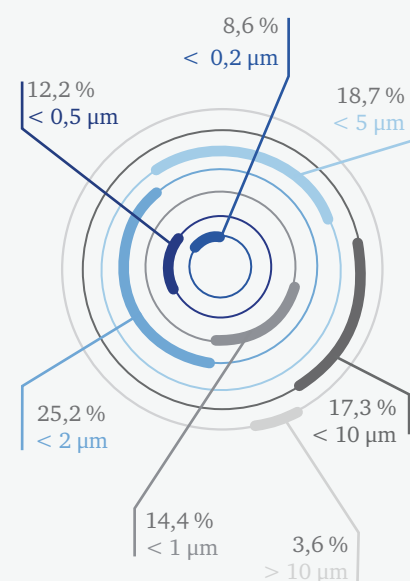
Die Branche des Werkzeug- und Formenbaus unterliegt einem strukturellen Wandel. Ausgehend von einer durch Handarbeit geprägten Fertigung ist eine verkettete Fertigung verschiedenster Technologien anzustreben. Zwar entwickeln sich neue Fertigungstechnologien, wie bspw. die additive Fertigung, zunehmend und erreichen auch einen fortschreitenden industriellen Reifegrad, jedoch wird der Prozess des FräSENS aufgrund seiner Produktivität, Flexibilität und Qualität stets eine dominierende Rolle im Werkzeugbau besitzen. Belegt wird die Aussage durch den höchsten Fertigungsanteil im Werkzeugbau. Für erfolgreich agierende Unternehmen ist daher ein produktiver und effizienter Fräsprozess essentiell. Besonders in naher Zukunft ist das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten in Form des Werkzeugs, des Werkstücks und schließlich der Werkzeugmaschine mit optimierter Bahnplanung von Bedeutung, da die Anforderungen an die herzustellenden Werkstücke steigen werden. So prognostizieren die 237 befragten Unternehmen, dass die verarbeiteten Werkstoffhärten zunehmen werden. Während derzeit zu einem Anteil von 51 % Härten im Bereich von 45 bis 55 HRC bearbeitet werden, werden in fünf bis zehn Jahren voraussichtlich Härten von 55 bis 65 HRC mit einem Anteil von 67 % dominieren. Zusätzlich zum Anstieg der Härte sind höhere Oberflächengüten zu erwarten. In fünf bis zehn Jahren werden laut den befragten Unternehmen Oberflächengüten mit einem Rz-Wert kleiner als 0,2 µm mit einem Anteil von 8,6 % gefordert. Oberflächengüten mit einem Rz-Wert kleiner als 0,5 µm werden voraussichtlich mit einem Anteil von 12 % gefordert. Trotz einer Zunahme der maximalen geforderten Oberflächengüte ist lediglich ein leicht geringerer Anteil der minimalen Oberflächengüte zu verzeichnen. Der Anteil der geforderten Oberflächengüte mit einem Rz-Wert größer bzw. kleiner als 10 µm liegt bei 3,6 % bzw. 17,3 %. Dies legt nahe, dass die

Werkzeugbauunternehmen zukünftig eine striktere Differenzierung bezüglich der Oberflächengüte anstreben. Zudem erfordern die höheren Oberflächengüten entsprechendes Equipment und Strategien, sodass die hohen Anforderungen erfüllt werden können. In den vorherigen Kapiteln wurde gezeigt, dass zusätzlich zur Ausstattung der Maschine die Herangehensweise der Bearbeitung und der Einsatz von entsprechender Software und Simulationen maßgeblichen Einfluss auf das Prozessergebnis haben. Um demnach langfristig einen erfolgreichen Fräsprozess zu etablieren, müssen die Mitarbeiter befähigt werden, die vorhandene Ausstattung entsprechend einzusetzen. Des Weiteren gehen die Unternehmen von zunehmend komplexeren Geometrien aus, da sich die Anteile der Achskonfigurationen entsprechend von der derzeit vorherrschenden 3-Achs-Konfiguration zur 5-Achs-Konfiguration entwickeln. Besonders in der Schlichtbearbeitung ist dieser Trend zu erkennen. Der Anteil des 3-achsigen-FräSENS soll sich von einem Anteil von 44 % auf 5 % verringern, währenddessen der Anteil des 5-achsigen FräSENS von 13 % auf 67 % zunehmen soll. Dies setzt auch eine entsprechende Aufbereitung der NC-Daten voraus, um das Potential der 5-Achs-Bearbeitung in Form von konstanten Prozessparametern und geometrischer Flexibilität ganzheitlich ausschöpfen zu können. Im Zeitalter von Industrie 4.0 und der vernetzten, adaptiven Produktion werden aufgenommene Prozessdaten zunehmend mit Simulationsmodellen verknüpft, sodass datengetriebene Vorhersagen möglich sind und gewinnbringend in den Prozess integriert werden können. Als Beispiel für den Fräsprozess ist die Kraftregelung zur Steigerung der Prozesssicherheit und Bauteilqualität zu nennen.

Wohin wird sich Ihrer Meinung nach zukünftig die durchschnittlich Werkstoffhärte (HRC) in der Hartbearbeitung mittels Fräsen entwickeln?



Wohin wird sich Ihrer Meinung nach zukünftig die durchschnittlich geforderte Oberflächengüte (Rz) in der Fräsebearbeitung entwickeln?





Zusammenfassung und Fazit

Der Werkzeug- und Formenbau in Deutschland steht vor mehreren zentralen Herausforderungen. Neben dem zunehmenden Kostendruck aufgrund der Globalisierung und den daraus resultierenden neuen Konkurrenten auf dem Markt erwarten die Kunden eine flexible und einfach anzupassende Werkzeuggestaltung. Darüber hinaus wird von den Werkzeugbauunternehmen erwartet, neue Technologietrends zu erkennen und neue Fertigungsverfahren, wie bspw. die additive Fertigung, einzusetzen. Oftmals werden dabei jedoch etablierte Technologien aus dem Fokus gerückt. Die Studie „Erfolgreich Fräsen im Werkzeugbau“ hat sich daher zum Ziel gesetzt, einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik in der Technologie des Fräsens zu vermitteln und Möglichkeiten sowie Potentiale des Fräsens aufzuzeigen.

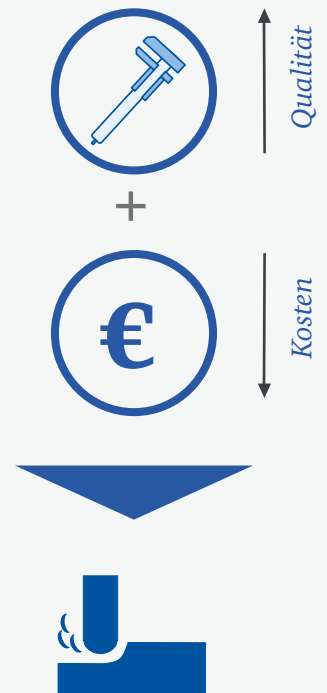
So kann in der Branche des Werkzeug- und Formenbaus die Frästechnologie aufgrund ihrer Eigenschaften hinsichtlich Produktivität, Qualität und Flexibilität als die wichtigste Technologie angesehen werden. Unabhängig von dem Verwendungszweck des Werkzeugs findet in nahezu jeder Prozesskette mindestens eine spanende Bearbeitung mittels Fräsen statt. Dies führt zu dem in dieser Studie aufgezeigten hohen Fertigungsanteil. Das heutige Produktspektrum von Werkzeugbauunternehmen ist sehr vielfältig und durch hohe geometrische Komplexität geprägt. Dementsprechend ist es nicht verwunderlich, dass bei der spanenden Bearbeitung mit Fräswerkzeugen bei den befragten Unternehmen verschiedene Herangehensweisen existieren.

Wie in dieser Studie gezeigt wurde, ist aufgrund zunehmender Werkstoffhärten und geforderter Oberflächengüten von steigenden Anforderungen an die Fertigungstechnologie auszugehen. Daher wurden in dieser Studie, basierend auf den im Status quo identifizierten Handlungspotentialen, technologische Verbesserungspotentiale hinsichtlich Produktivität, Qualität und Wirtschaftlichkeit für die Frästechnologie aufgezeigt. So ist mit der Integration von neuartigen Bearbeitungsstrategien in Form des Trochoidal- und

Tauchfräsens und dem Einsatz von modernen Fräswerkzeugtypen eine gezielte Verbesserung der Produktivität und Qualität möglich. Zur Verbesserung der im Werkzeugbau entscheidenden Oberflächenqualität wurden zwei Werkzeugkonzepte vorgestellt, mit denen eine maschinenintegrierte Oberflächenbearbeitung möglich ist. Mit geringem Aufwand in Form von Anpassung des Bahnabstands und der axialen Zustellung können diese Werkzeugtypen integriert im 5-Achs-Bearbeitungszentrum eingesetzt werden und ermöglichen eine Verbesserung der Oberflächenrauheit nach der Fräsbearbeitung um bis zu 50 %. Die orts aufgelöste Visualisierung von Maschinendaten ermöglicht schließlich eine genaue Prozessanalyse und erweitert das Verständnis von Fertigungsprozessen. Die zahlreichen Möglichkeiten der Prozessgestaltung wirken sich unterschiedlich auf das Prozessergebnis aus, sodass Werkzeugbauunternehmen vor die Herausforderung der geeigneten Strategiewahl gestellt werden. Im Rahmen dieser Studie wurden mittels eines Demonstrators verschiedene Bearbeitungsstrategien betrachtet, um diese unter bauteilspezifischen und wirtschaftlichen Aspekten zu bewerten.

Mit Blick auf die Studienergebnisse lässt sich zusammenfassen, dass die Technologie des Fräsens auch langfristig nicht an Stellenwert für den Werkzeug- und Formenbau verlieren wird. Die vorgestellte Studie weist Möglichkeiten auf, das Potential des Fräsens weiter zu steigern. Beispielfhaft wurden in diesem Zusammenhang die Themen innovative CAM-Strategien, maschinenintegrierte Oberflächennachbearbeitung sowie Digitalisierung thematisiert. Die dargestellten Aspekte ermöglichen es den deutschen Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus auch zukünftig unter Verwendung einer bereits etablierten Fertigungstechnologie zukunftsfähig zu produzieren.

Kundenanforderungen



Optimierter Fräsprozess

Autoren



Prof. Dr. Wolfgang Boos

Geschäftsführer
WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH



Dr. Kristian Arntz

Abteilungsleiter Nichtkonventionelle Fertigungsverfahren und Technologieintegration
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Lars Johannsen

Gruppenleiter Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Marcel Prümmer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Rainer Horstkotte

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Philipp Ganser

Gruppenleiter Grundlagen und Technologieentwicklung in der
Hochleistungszerspanung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Tommy Venek

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Grundlagen und Technologieentwicklung
in der Hochleistungszerspanung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Vincent Gerretz

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Grundlagen und Technologieentwicklung
in der Hochleistungszerspanung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Literaturverzeichnis

- [1] Boos, W.: Methodik zur Gestaltung und Bewertung von modularen Werkzeugen, Dissertation, 2008
- [2] Wohlers Associates, Inc.: Wohlers Report 2017 – 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry – Annual Worldwide Progress Report, 2017
- [3] Form+Werkzeug: Der Werkzeugbau ist Wegbereiter neuer Technologien, Beitrag auf Internetseite, 2016
- [4] Wagner, S.: Verfahren zur schnellen Erstellung und Bewertung von Konzeptmethoden für Blechbauteile, Dissertation, 2012
- [5] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Begriffe, 2013
- [6] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 3321: Schnittwertoptimierung – Grundlagen und Anwendung, 1994

Unsere Studien – Strategische Entwicklung



*Corporate Tooling –
Agile Tool
Development*
2017



*Corporate Tooling –
Flexible Tooling
Organization*
2017



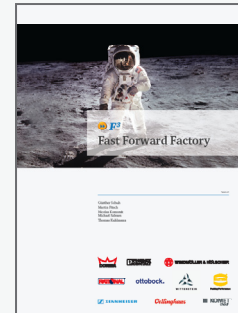
*Corporate Tooling –
Intelligent
Tool Manufacturing*
2017



Smart Tooling
2016



Fast Forward Tooling
2015



*F3 Fast Forward
Factory*
2015

Unsere Studien – Erfolgreich ...



**Erfolgreich
Fräsen**
2018



**Erfolgreich
Automatisieren**
2017



**Erfolgreich
Restrukturieren**
2017



**Erfolgreich
Performance Messen**
2017



**Erfolgreich Fertigungs-
technologien Einsetzen**
2017



**Erfolgreich
Finanzieren**
2016



**Erfolgreich Digital
Vernetzen**
2016



**Erfolgreich
Mitarbeiter
Motivieren**
2016

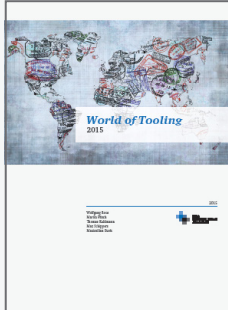


**Erfolgreich
Kalkulieren**
2015



Erfolgreich Planen
2015

Unsere Studien – Tooling in ...



World of Tooling
2015



Tooling in Germany
2018



Tooling in China
2016



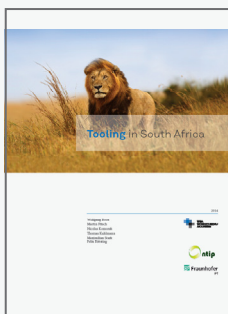
Tooling in Turkey
2016



Tooling in Germany
2016



Tooling in China
2015



Tooling in South Africa
2014



Herausgeber

Fraunhofer-Institut IPT

Steinbachstraße 17
52074 Aachen

www.ipt.fraunhofer.de

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Campus-Boulevard 30
52074 Aachen

www.werkzeugbau-akademie.de

978-3-946612-28-5



9 783946 612285