Erfolgreich Fertigungstechnologien Einsetzen

im Werkzeugbau

2017

Wolfgang Boos
Kristian Arntz
Lars Johannsen
Tim Dröscher
Moritz Wollbrink
Marcel Prümmer

WBA
WERKZEUGBAU
AKADEMIE

Fraunhofer
IPT

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 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
IPT

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 Fertigungstechnologien Einsetzen im Werkzeugbau
Studie Fraunhofer IPT

Copyright © 2017

Autoren:
Dr. Wolfgang Boos, Dr. Kristian Arntz, Lars Johannsen,
Tim Dröscher, Moritz Wollbrink, Marcel Prümmer

Gestaltung: Janina Schmitz, Catharina Zeiß
ISBN: 978-3-946612-14-8
Druck: printclub, 1. Edition

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH
Karl-Friedrich-Straße 60
52072 Aachen
www.werkzeugbau-akademie.de

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
Steinbachstraße 17
52074 Aachen
www.ipt.fraunhofer.de

Erfolgreich Fertigungstechnologien Einsetzen
im Werkzeugbau

2017

Wolfgang Boos
Kristian Arntz
Lars Johannsen
Tim Dröscher
Moritz Wollbrink
Marcel Prümmer

WBA
WERKZEUGBAU
AKADEMIE

Fraunhofer
IPT

Spotlight

Der Werkzeugbau in Deutschland sieht sich nicht nur mit dem wachsenden globalen Wettbewerb und der kundenorientierten Produktvielfalt konfrontiert, sondern auch mit der steigenden digitalen Vernetzung im gesamten Produktionsumfeld im Zusammenhang mit der voranschreitenden Implementierung von Industrie 4.0. Zusätzlich zu den resultierenden Veränderungen in der Unternehmensorganisation, müssen produzierende Unternehmen die eingesetzten Technologien und Ressourcen kontinuierlich hinterfragen und optimieren, um langfristig wettbewerbsfähig zu agieren. Insbesondere die derzeitigen Weiterentwicklungen in der Softwaretechnik sowie in der Informations- und Datenverarbeitung resultieren in einer neuen Dimension der Produktionsoptimierung. In Kombination mit dem grundlegenden technologischen Wissen deutscher Werkzeugbaubetriebe stellt dies einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil dar. Die höchst anspruchsvolle Werkzeugherstellung bedarf daher des systematischen Einsatzes und der Vernetzung von leistungsfähigen Fertigungstechnologien und -ressourcen entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Die Studie „Erfolgreich Fertigungstechnologien Einsetzen im Werkzeugbau“ liefert einen Überblick über den Status quo der maschinellen Fertigung deutscher Werkzeugbaubetriebe und zeigt zukünftige fertigungstechnische Herausforderungen und technologische Trends in der Branche auf.

14

verschiedene Fertigungsverfahren setzen deutsche Werkzeugbau-unternehmen durchschnittlich ein

< 5 µm

sind die maximalen Toleranz-anforderungen bei 38,8 % der Unternehmen

36,5 %

beträgt der Anteil an 5-Achs-Maschinen im Fräsmaschinenpark deutscher Werkzeugbaubetriebe

> 60 HRC

ist die Härte der zu bearbeitenden Werkstoffe bei 32,5 % der Unternehmen

48,1 %

beträgt der durchschnittliche Fertigungsanteil der Frästechnologie

Executive Summary

Durch den globalen Wettbewerb mit kostengünstigeren Marktbegleitern wird der Werkzeugbau in Hochlohnländern zunehmend zu einer technischen Differenzierung sowie einer hohen Wirtschaftlichkeit gezwungen.

Der Werkzeugbau im Hochlohnland Deutschland befindet sich im Spannungsfeld verschiedener Herausforderungen, die aus den weltweiten Trends Globalisierung und Derivatisierung resultieren. Die zunehmende Vergleichbarkeit der Produkte im globalen Beschaffungsmarkt sowie die technologischen Entwicklungen von kostengünstigeren Werkzeugbaubetrieben aus Osteuropa und Asien fördern den internationalen Wettbewerb. Die Derivatisierung resultiert aus den steigenden Individualisierungsansprüchen der Kunden und führt zu einer hohen Produktvielfalt. Dies ist besonders in der Automobilindustrie, dem wichtigsten Marktsegment für deutsche Werkzeugbaubetriebe, zu erkennen.

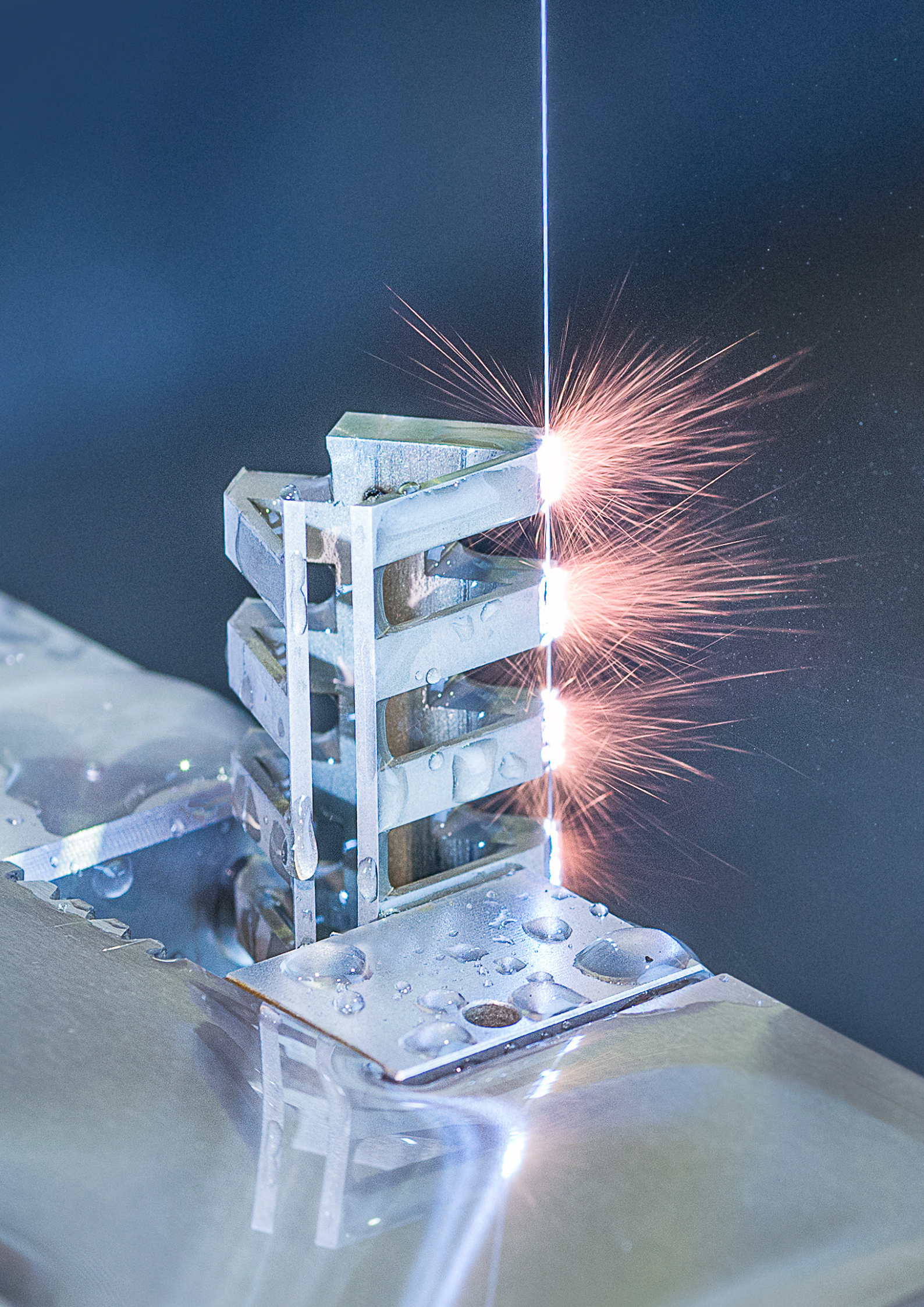
Neben einer langfristigen, leistungsorientierten Differenzierungsstrategie sowie einer effizienten Auftragsabwicklung ist es daher notwendig, die kapitalintensiven fertigungstechnischen Ressourcen exakt an die hohe Produktvielfalt und deren charakteristische Anforderungen anzupassen. Eine solche Anpassung gewährleistet eine leistungsfähige und gleichzeitig flexible maschinelle Fertigung, die es dem Werkzeugbau darüber hinaus ermöglicht, kosteneffizient zu produzieren und folglich die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Auf der anderen Seite ist die maschinelle Fertigung für den Großteil der Gesamtkosten im Werkzeugbaubetrieb verantwortlich. Demzufolge tragen die eingesetzten Ressourcen in besonderem Maße zur Wettbewerbsfähigkeit bei, stellen jedoch zugleich auch einen bedeutenden Kostenfaktor dar.

Aus dieser konträren Konstellation resultiert das Handlungsfeld des systematischen Einsatzes der Fertigungstechnologien und -ressourcen in der maschinellen Fertigung. Auf dem Weg zur industriellen Fertigung sehen sich viele Unternehmen mit Implementierungshindernissen und Risiken in diesem Handlungsfeld konfrontiert. Zum einen stehen den Investitionskosten in der Regel Unsicherheiten hinsichtlich des technischen und wirtschaftlichen Erfolgs gegenüber. Andererseits gehen innovative Fertigungskonzepte mit neuartigen Technologien und Automatisierungslösungen häufig mit einer strategischen Neuausrichtung und einer zwangsläufig notwendigen Umorganisation der Prozesse und einem Umdenken der Mitarbeiter einher.

Um diesen Herausforderungen optimal zu begegnen und dadurch die Wettbewerbsposition deutscher Werkzeugbaubetriebe langfristig zu stärken, ist es notwendig, die Investitionen in neue Fertigungstechnologien und -ressourcen systematisch zu gestalten und deren Einsatz exakt zu planen, um ihre wirtschaftlichen Auswirkungen abschätzen zu können. Die Analyse des Status quo leistungsfähiger deutscher Werkzeugbaubetriebe und deren Prognosen bezüglich zukünftiger Entwicklungen und Innovationen stellen einen wichtigen ersten Schritt dar.
Die nachfolgende Studie beleuchtet daher das Handlungsfeld des Einsatzes von Fertigungstechnologien und stellt auf Grund dieser Basis sowie einer Erhebung unter führenden Werkzeugbaubetrieben in Deutschland Leitlinien für die zukünftige Orientierung, die Investitionsplanung und den erfolgreichen Einsatz von Fertigungstechnologien in der Werkzeugbaubranche bereit.

7 %

beträgt die jährliche Investitionsquote (Invest/Umsatz) deutscher Werkzeugbaubetriebe im Durchschnitt



Studiendesign

Die Studie beleuchtet die Frage nach dem heutigen und zukünftigen Einsatz von Fertigungstechnologien und -ressourcen in der Branche Werkzeugbau.

Die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie beschäftigt sich in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen sowie dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT seit vielen Jahren mit der Bewertung von Werkzeugbaubetrieben und Marktanalysen in der Branche. Die einzigartige Datenbank von WZL und IPT mit mehr als 1.000 Benchmarkingdatensätzen deutscher und internationaler Werkzeugbaubetriebe, die nicht älter als 5 Jahre sind, ist die Grundlage für fundierte Aussagen zur Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit sowie dem Entwicklungspotenzial von Werkzeugbaumärkten und -betrieben.

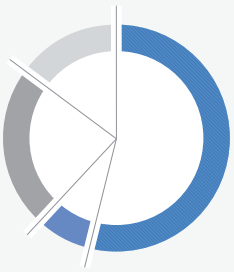
Ausgehend von dem Handlungsfeld des Einsatzes von Fertigungstechnologien und den zugehörigen Maschinen in der Branche Werkzeugbau führte die Gruppe Technologieorganisation des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT die vorliegende Studie „Erfolgreich Fertigungstechnologien Einsetzen im Werkzeugbau“ durch. Diese Erhebung fokussiert die wichtigsten Fragestellungen nach der heutigen und zukünftigen Organisation, Ressourcenausstattung und technologischen Vielfalt der maschinellen Fertigung deutscher Werkzeugbaubetriebe.
Ziel der Studie ist es, bestehende Praxis sowie Potenziale des Technologieeinsatzes zu analysieren und daraus abgeleitet die Technologieorganisation branchenweit transparent zu erfassen. Im Rahmen der Studie werden Lösungsansätze für die technologische Ausrichtung im Werkzeugbau entwickelt sowie Anstöße für zukünftige Investitionen in die maschinelle Fertigung gegeben.

Die Gruppe der Werkzeugbaubetriebe wird in dieser Studie von insgesamt 13 Unternehmen repräsentiert. Diese Unternehmen wurden im Rahmen des Wettbewerbs „Excellence in Production“ als Finalisten ermittelt und zählen daher zur Spitzengruppe der Werkzeug- und Formenbauunternehmen im deutschsprachigen Raum.

Bei den befragten Unternehmen handelt es sich zu einem Großteil um kleinere Betriebe mit bis zu 50 Mitarbeitern. Dabei agieren 38 % der befragten Unternehmen als externer Werkzeugbau im Wettbewerb und 62 % der Studienteilnehmer sind als interne Werkzeugbaubetriebe in ein Mutterunternehmen integriert. Außerdem sind die Umfrageteilnehmer vor allem im Zulieferergeschäft der Branchen Automobilindustrie und Elektronik tätig, aber auch Produkte aus der Medizintechnik, Hausgeräte und Konsumgüter werden mit den Werkzeugen der befragten Unternehmen hergestellt.

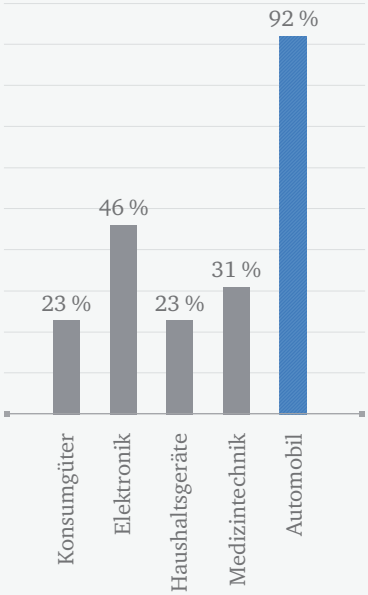
Der Fragebogen, der der Studie zugrunde liegt, fokussiert in logischer Reihenfolge unterschiedlichste Aspekte der maschinellen Fertigung im Werkzeug- und Formenbau. Es wird zunächst ein kurzer Einblick in die Produktstruktur und die jeweiligen Anforderungen hinsichtlich verschiedenster Werkstückcharakteristika gegeben. Basierend auf den technologischen Anforderungen aus dem Werkstückspektrum werden die Bedeutung und der Einsatz der jeweiligen Fertigungstechnologien in den Unternehmen erfragt. Danach werden Zielgrößen und Charakteristika der Fertigungsprozesse untersucht und darauf aufbauend die technologisch-wirtschaftliche Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit des Werkstückspektrums beleuchtet. Abschließend werden die relevantesten Charakteristika und Ausstattungen der Fertigungsressourcen bestimmt. Dadurch werden neben den technologischen Fragestellungen auch organisatorische und strategische Aspekte in der Werkzeugfertigung diskutiert. Abschließend erfolgen eine Zusammenfassung der Ergebnisse und der Ausblick auf künftige Entwicklungen und Trends im Fertigungsumfeld der Branche.

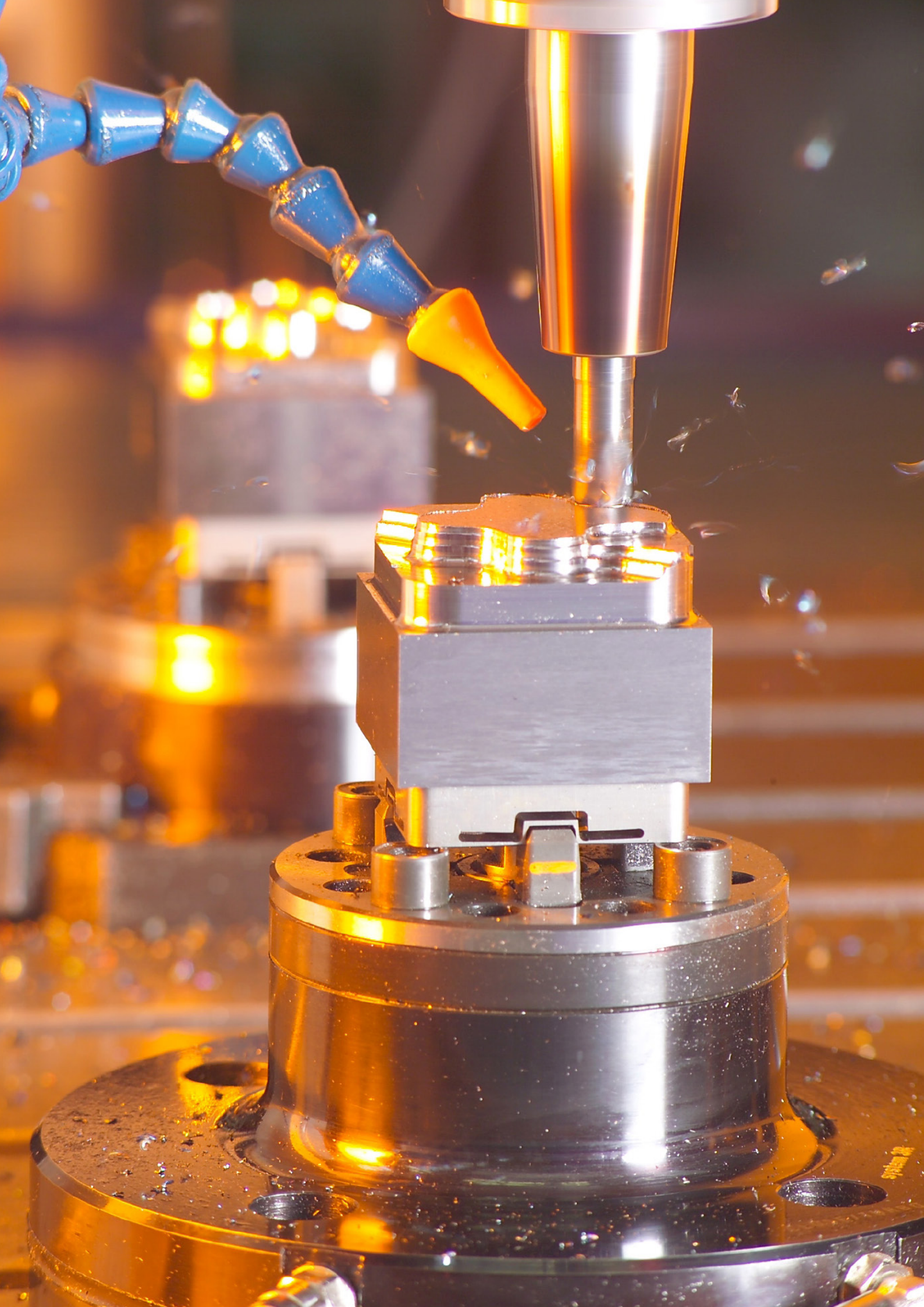
Mitarbeiteranzahl



54 %	0-50 Mitarbeiter
8 %	51-100 Mitarbeiter
23 %	101-200 Mitarbeiter
15 %	201-500 Mitarbeiter

Branchen [Mehrfachnennung möglich]





Erfolgreich Fertigungs-technologien Einsetzen

Die Studie „Erfolgreich Fertigungstechnologien Einsetzen im Werkzeugbau“ fokussiert inhaltlich den Status quo des Einsatzes von Fertigungstechnologien und impliziten Fertigungsressourcen sowie die technologische Leistungsfähigkeit der realisierten Fertigungsprozesse.

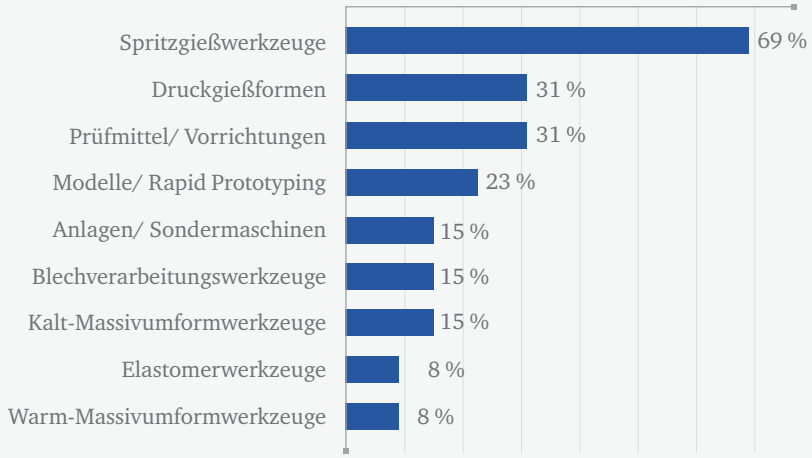
Die eingesetzten Fertigungstechnologien und -ressourcen hängen vordergründig von den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen an die maschinelle Fertigung ab. Die stark divergierenden Anforderungen an die unterschiedlichen Werkzeugtypen resultieren wiederum aus dem eigentlichen Produktspektrum. Die hergestellten Werkzeuge müssen den Anforderungen in der Produktion entsprechend ausgelegt werden. Die hohen produktseitigen Anforderungen an Qualität und Genauigkeit spiegeln sich in der Werkzeugproduktion wider. Darüber hinaus wird der Einsatz der Fertigungstechnologien maßgeblich durch die unternehmensspezifische Technologiebeherrschung beeinflusst, da die Leistungsfähigkeit und Prozessstabilität der Fertigungstechnologien durch die jeweilige Technologiekompetenz der Mitarbeiter bestimmt werden.

Filigrane Kunststoffteile für die Medizintechnik-, Elektronik- oder Automobilindustrie erfordern hochpräzise Spritzgießwerkzeuge mit besonderen Oberflächenanforderungen in den formgebenden Werkzeugbauteilen. Des Weiteren sind die Werkzeuge in den metallverarbeitenden Branchen dadurch charakterisiert, dass die hohen Anforderungen an die Form- und Maßhaltigkeit bei hohen Standzeiten in sehr hohen Werkstoffhärten resultieren. Die gehärteten Werkzeugstähle mit geringer Zerspanbarkeit stellen die fertigungstechnische Prozesskette im Werkzeugbau vor technologische und wirtschaftliche Herausforderungen.

Mit 69 % stellt die Mehrheit der in dieser Studie befragten Unternehmen Spritzgießwerkzeuge her, wodurch ein klarer Schwerpunkt auf diesem Werkzeugtyp liegt. Dieser und auch die weiteren Werte spiegeln gleichzeitig den Anteil der jeweiligen Werkzeugtypen in der umfangreichen Benchmarkingdatenbank des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen und des Fraunhofer IPT sehr gut wider.

Trotz des teilweise abweichenden Werkzeugspektrums der befragten Unternehmen kann davon ausgegangen werden, dass die fertigungstechnologischen Zusammenhänge mit Bezug auf das Werkzeugspektrum in der Regel gleich sind. Ebenfalls ist den unterschiedlichen Werkzeugtypen gemein, dass diese als Kleinstserien oder Unikate hergestellt werden und folglich ein stark heterogenes Werkstückspektrum in der maschinellen Fertigung hergestellt werden muss. Trotz umfangreicher Standardisierungsmaßnahmen in vielen Unternehmen auf Prozess- und Produktebene, zeichnet sich der Werkzeugbau im Allgemeinen durch eine Produktion in Losgröße 1 aus. Die maschinelle Fertigung ist daher darauf angewiesen, eine hohe Flexibilität im Maschinenpark langfristig vorzusehen, um die divergierenden Werkstücke innerhalb eines einzelnen Werkzeugs wirtschaftlich fertigen zu können.

Werkzeugtypen [Mehrfachnennung möglich]



Produktanforderungen und Werkstückcharakteristika

Der stark heterogene Technologieeinsatz in der Branche Werkzeugbau ist insbesondere durch die unterschiedlichen technologischen Anforderungen aus dem Werkstückspektrum zu begründen.

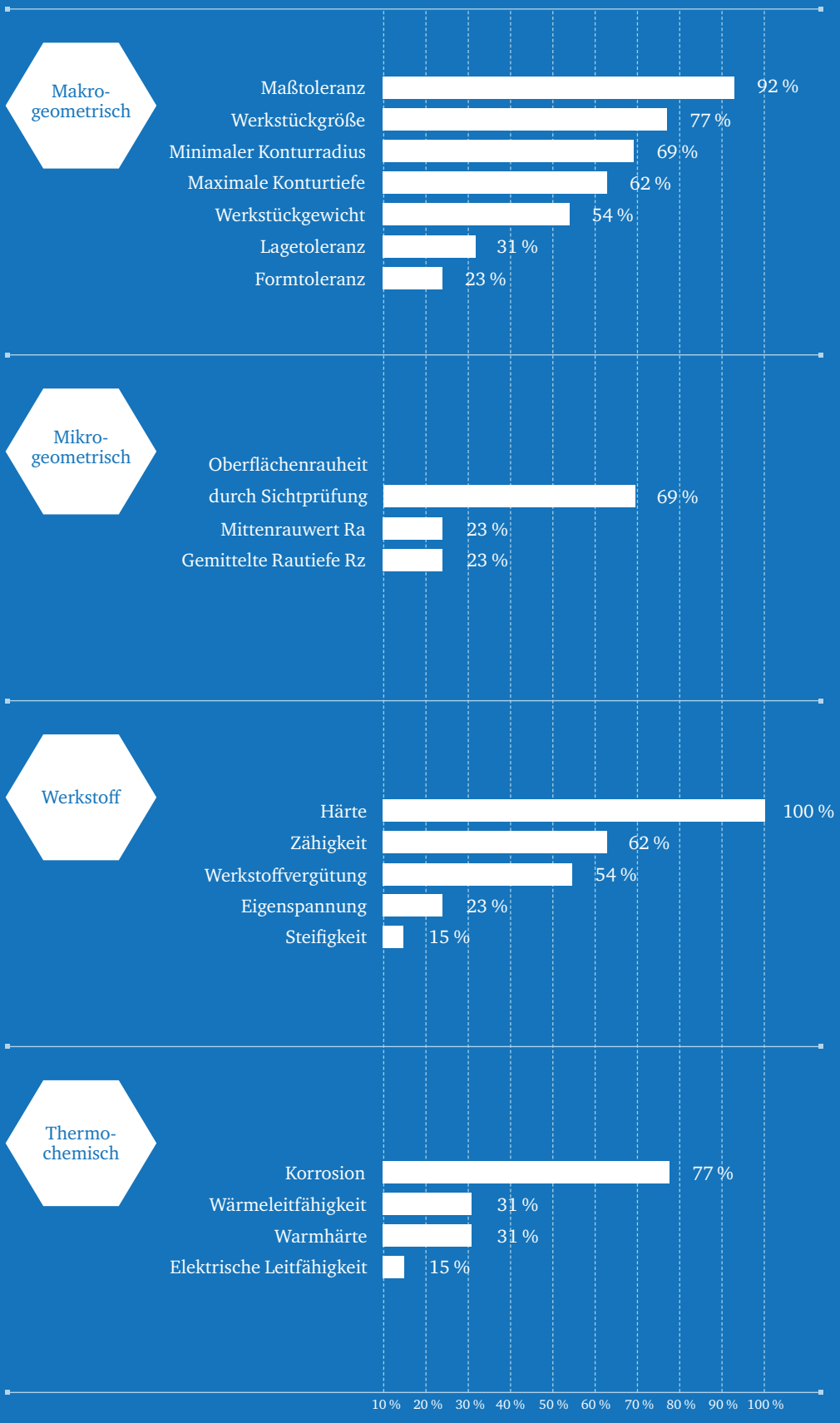
Zusätzlich zu dem Einfluss der unterschiedlichen Werkzeugtypen auf die technologischen Anforderungen entstehen durch die speziellen Kundenwünsche verschiedenartige werkzeugtechnische Herausforderungen. Diese resultieren beispielsweise in besonderen Oberflächeneigenschaften, engen Maßtoleranzen oder hohen Werkstoffhärten. Ungeachtet der Tatsache, dass ein wettbewerbsfähiger Werkzeugbau stets eine gewisse Fokussierung und Standardisierung im eigenen Produktspektrum aufweist, ist ein Großteil der herzustellenden Bauteile dennoch als Unikat zu bezeichnen. Dies gilt insbesondere für die formgebenden Komponenten der Werkzeuge, wie beispielsweise Formeinsätze, Gravuren, Schieber oder Kerne.

Im Gegensatz zur Serienfertigung kann die Auslegung und Planung des Technologieeinsatzes daher nicht anhand des bestimmten Werkstücks oder Bearbeitungsschritts geschehen, sondern muss aufgrund der geringen Wiederholhäufigkeiten von einzelnen Fertigungsprozessen am schwer zu beschreibenden Werkzeugspektrum und den Trends im Produktspektrum der Kunden ausgerichtet werden. Zur Ableitung eines aussagefähigen Anforderungsprofils muss daher eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen berücksichtigt werden. Demzufolge ist die Voraussetzung für die Auswahl und den Einsatz von Fertigungstechnologien eine systematische Analyse der technologischen Anforderungen aus einem repräsentativen Werkstückspektrum. Um diese Analyse quantitativ fundiert und replizierbar durchzuführen, ist eine Priorisierung und Definition von Werkstückcharakteristika erforderlich, anhand derer aus dem Werkstückspektrum ein Anforderungsprofil für den Einsatz von Fertigungstechnologien abgeleitet werden kann.

Die Definition und Festlegung der zu berücksichtigenden Werkstückcharakteristika ist jedoch von unternehmensspezifischen Faktoren und subjektiven Erfahrungswerten der Mitarbeiter abhängig. Beispielsweise existieren in der gängigen Praxis für die Angabe von Oberflächenrauheiten oder Werkstoffhärten jeweils unterschiedliche Messgrößen und Skalen. Jedoch ergeben sich aus der Befragung der Unternehmen nach den technischen Charakteristika, die in der Arbeitsvorbereitung und der Werkstückfertigung berücksichtigt werden, eindeutige Schwerpunkte für bestimmte Eigenschaften der Werkstücke. Eine vollständige Werkstückbeschreibung aus fertigungstechnischer Sicht umfasst die makro- und mikrogeometrischen, werkstofftechnischen, sowie thermo-chemischen Eigenschaften.

Werkstückcharakteristika

Welche technischen Charakteristika werden in der Arbeitsvorbereitung und/oder Werkstückfertigung berücksichtigt?

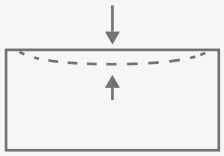


Werkstückcharakteristika

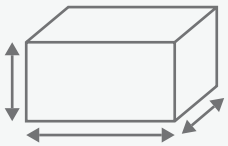
Den stärksten Einfluss auf die Anwendungsmöglichkeiten und Leistungsfähigkeit der zerspanenden Bearbeitung hat die Werkstoffhärte. Dieser Zusammenhang wird dadurch deutlich, dass 100 % der befragten Unternehmen die Härte des jeweiligen Werkstoffs vorliegen haben und diese entsprechend in der Arbeitsvorbereitung und Fertigung berücksichtigen. Zusätzlich zu den Entwicklungen von immer leistungsfähigeren Werkzeugstählen steigen die Forderungen nach kürzeren Fertigungsprozessketten und hoher Präzision, wodurch nach technologisch und wirtschaftlich einsetzbaren Fertigungstechnologien für die Hartbearbeitung verlangt wird. Für die Kompletthartbearbeitung insbesondere von Kaltarbeitsstählen mit einer Härte bis zu 65 HRC hat sich das Fräsen am ehesten qualifiziert, da durch Prozessentwicklungen und hochharte Schneidstoffe die technologischen Grenzen in den vergangenen Jahren stetig nach oben verschoben werden konnten.

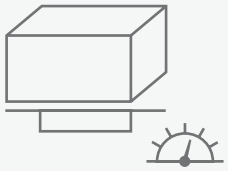
Die Werkstückgröße und das Werkstückgewicht sind besonders in der Arbeitsvorbereitung relevant, da diese Charakteristika die Zuordnung der Werkstücke zu den Maschinen im Rahmen der Fertigungsplanung entscheidend beeinflussen.

Der minimale Konturradius in Werkzeugkavitäten wird vor allem von den geometrischen Abmessungen und Formen der eingesetzten Fräs- oder Schleifwerkzeuge begrenzt. Bei sehr scharfen Konturen ist eine Abwägung zwischen dem 5-Achs-Fräsen und der Senk- und Drahterosion unter Berücksichtigung der technologischen Herstellbarkeit und Wirtschaftlichkeit notwendig. Die maximale Konturtiefe ist die maximale Bearbeitungstiefe, die in einer Werkzeugkavität zu realisieren ist. Im ungünstigsten Fall beengter Zugänglichkeit der Geometrie, legt die Konturtiefe die Mindestlänge fest, die ein Bearbeitungswerkzeug (Fräswerkzeug, Schleifstift oder -scheibe, Elektrode) aufweisen muss. Das Verhältnis der größten Kavitätstiefe zum kleinsten auftretenden Radius der gesamten formgebenden Elemente des Werkstücks wird als Aspektverhältnis definiert. Das Aspektverhältnis bestimmt im Wesentlichen die Steifigkeit und Geometrien der Bearbeitungswerkzeuge und beeinflusst somit die Stabilität der Fertigungsprozesse.

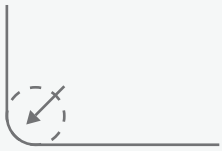


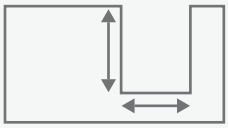
Die Maßtoleranz ist gemäß DIN ISO 286 als die Differenz zwischen dem Höchstmaß und Untermaß definiert. Die Maßtoleranz gibt daher zusammengefasst wieder, welche Anforderungen ein Werkstück in Hinblick auf die Arbeitsgenauigkeit an die Fertigungstechnologien stellt. Der Werkzeugbau ist durch stets hohe Maßtoleranzanforderungen charakterisiert, die in der produzierenden Industrie als überdurchschnittlich einzustufen sind. Folglich ist auch der Einsatz von Fertigungstechnologien und impliziten Fertigungsressourcen häufig auf die Maxime der erzielbaren Genauigkeit ausgelegt.

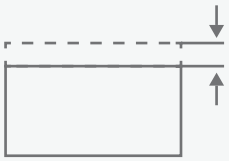


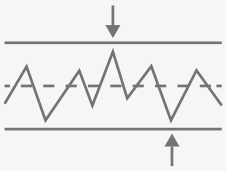


Die mikrogeometrische Beurteilung ist insbesondere bei den formgebenden Werkzeugeinsätzen für Kunststoffteile mit hohen Kundenansprüchen an Optik und Haptik relevant. Mikrogeometrische Abweichungen resultieren aus den mechanischen und thermischen Beanspruchungen in der Fertigungshistorie und können aufwändige Nacharbeiten zur Folge haben. Die Beschreibung und Quantifizierung der Oberflächenrauheit ist daher ein notwendiges Mittel um die Qualität der Werkstückoberfläche systematisch zu messen und zu analysieren. In der Praxis des Werkzeugbaus hat sich dafür die Charakterisierung der Oberfläche durch den arithmetischen Mittenrauwert Ra oder die gemittelte Rautiefe Rz etabliert. Aufgrund des zeitintensiven Messvorgangs wird in der Fertigung die Sichtprüfung der Oberflächenrauheit bei dem Großteil der befragten Unternehmen bevorzugt.







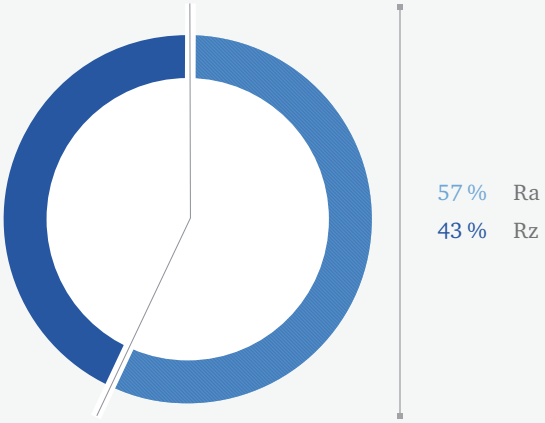


Spätestens jedoch im Try-out Prozess ist die systematische Messung der Oberflächenrauheit und der Aufbau von zugehörigem Erfahrungswissen über die Wechselwirkungen mit den vorgelagerten Prozessschritten äußerst wichtig.

Eine weitere Möglichkeit zur Beschreibung der geforderten Oberflächengüte ist die Oberflächencharakteristik. Diese wird durch die verwendete Fertigungstechnologie erzeugt. Eine Oberflächencharakteristik kann beispielsweise die Anforderung „geschliffen“ oder „erodiert“ innehaben. Insbesondere erodierte Oberflächen nehmen einen hohen Stellenwert im Bereich der Spritzgießwerkzeuge ein.

Bei den berücksichtigten thermo-chemischen Werkstückeigenschaften sticht die Korrosion mit 77 % hervor. Korrosion beschreibt die Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung (Sauerstoff, chemische Stoffe, etc.), die einen Zersetzungsprozess an der Oberfläche bewirkt und die Funktion des Bauteils beeinträchtigt. Bei hochbeanspruchten Stellen im formgebenden Werkzeugteil besteht die Möglichkeit einen lokalen Auftrag von korrosions- und verschleißbeständigen Legierungen mittels Laser zu realisieren, um die Standzeiten und Wartungsintervalle zu optimieren.

Welcher Rauheitskennwert wird zur Beurteilung der Oberflächenqualität in Zeichnungen angegeben und anschließend gemessen?



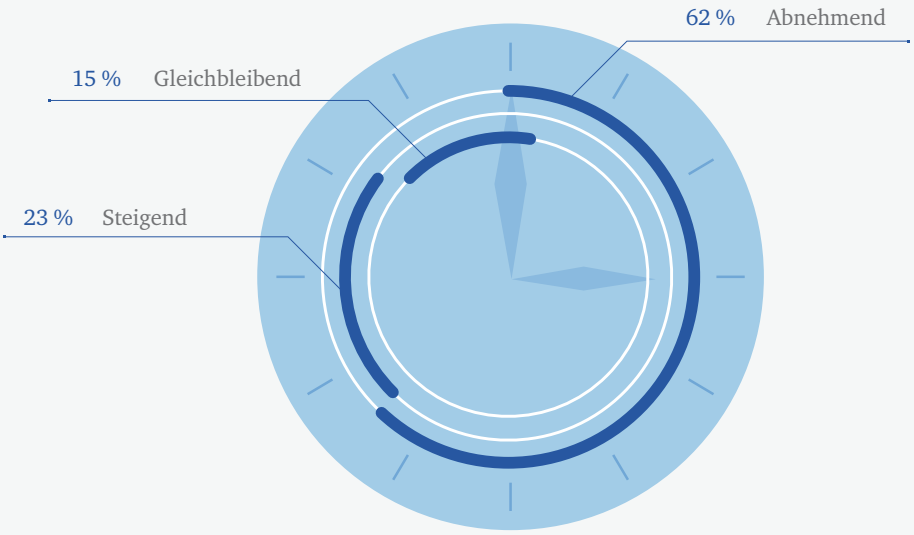
Entwicklung der Bearbeitungszeiten für Werkzeuge

Die vielseitigen Entwicklungen in der Maschinen- und Automatisierungstechnik sowie innovative Prozessverbesserungen ermöglichen eine Steigerung der Leistungsfähigkeit von Fertigungsprozessen. Exemplarisch seien hier die Entwicklungen von Schneidstoffen und die damit verbundene Schnittgeschwindigkeitserhöhung im Fräsen oder die sprunghafte Leistungsfähigkeitssteigerung der Generatortechnologie bei der Funkenerosion genannt, die zu einer Reduktion der Bearbeitungszeiten führen.

Demgegenüber stehen kontinuierlich steigende produktseitige Anforderungen, die konsequenterweise in einem höheren fertigungstechnischen Aufwand im Werkzeugbau resultieren. Steigende Produktkomplexität, höhere Werkstoffhärten oder feinere Oberflächengüten führen in der Regel zu komplizierteren Bearbeitungsprozessen und folglich zu längeren Haupt- und Nebenzeiten in der Werkzeugfertigung. Auf die Frage nach der Entwicklung von Bearbeitungszeiten für Werkzeuge bestätigen 23 % der Unternehmen diese These.

Die gleichzeitige und ganzheitliche Betrachtung der werkstückseitigen Anforderungen und der technologischen Leistungsfähigkeit resultiert in einer gezielten Auswahl der Fertigungstechnologien für das spezifische Werkstückspektrum. Die systematischen Investitionen in Maschinen und Betriebsmittel sowie der zugehörige Aufbau von technologischem Know-how ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor deutscher Werkzeugbaubetriebe.

Wie werden sich die Bearbeitungszeiten in der maschinellen Fertigung für ein einzelnes Werkzeug in Zukunft entwickeln?



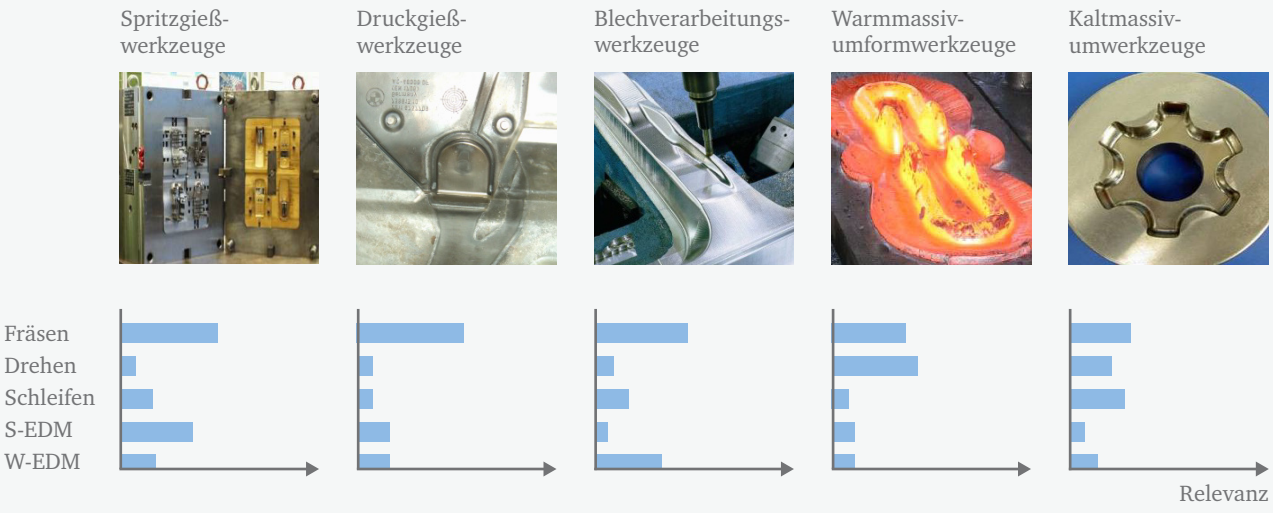
Status quo des Einsatzes der Fertigungstechnologien

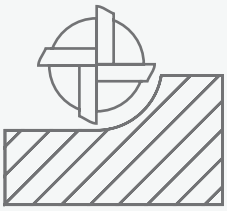
Durch den technologischen Fortschritt in den vergangenen Jahren stehen für den heutigen Werkzeugbau eine Vielzahl an potenziellen Fertigungstechnologien und unzählige Fertigungsmaschinen von unterschiedlichen Herstellern zur Verfügung.

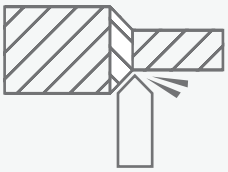
Der gezielte Einsatz der Fertigungstechnologien und die resultierende Auslastung der Produktionsmaschinen sind höchst relevante Stellgrößen für eine technologisch und wirtschaftlich optimale Werkzeugherstellung. Trotz kontinuierlicher Weiterentwicklungen der innovativen Fertigungstechnologien, wie beispielsweise dem Laserauftragschweißen (LAS) und dem Selektiven Laserschmelzen (SLM), sind die klassischen Fertigungstechnologien Fräsen, Schleifen, Drehen sowie die Senk- und Drahterosion weiterhin als Kerntechnologien im Werkzeugbau zu nennen.

Neben dem bestimmten Werkstückspektrum und den Leistungsfähigkeiten der Fertigungstechnologien sind die unternehmensspezifische Fertigungsstrategie sowie das Zusammenspiel aus Wertschöpfungstiefe und Fremdvergabe relevante Einflussfaktoren auf den Technologieeinsatz. In der Regel werden vor allem die formgebenden Werkzeugteile innerhalb der Fertigungsprozesskette gehärtet, um den Belastungen im Produktionseinsatz standzuhalten. Die Bearbeitung von ungehärteten und gehärteten Werkstücken verlangt jedoch unterschiedliche Prozessketten, Fertigungstechnologien und Prozessparameter. Die Unterteilung in die Weich- und Hartbearbeitung ist im Werkzeugbau vielfach gleichbedeutend mit der Unterscheidung zwischen Schrupp- und Schlichtbearbeitung und den verschiedenen Zielsetzungen der Fertigungsprozesse. In Abhängigkeit von individuellen Rahmenbedingungen und der Fertigungsstrategie werden technologisch weniger anspruchsvolle Weichbearbeitungen immer häufiger extern vergeben und einzig die finale Geometrie- und Oberflächenerzeugung wird vor der Werkzeugmontage inhouse realisiert. Eine solche Fokussierung innerhalb der Fertigungsprozesskette bedingt eine abweichende Auslegung des Maschinenparks. Die entsprechend unterschiedlichen Anforderungen spiegeln sich auch im gegenwärtigen Technologieeinsatz der befragten Unternehmen für die Weich- und Hartbearbeitung wider.

Technologieeinsatz in Abhängigkeit vom Produktspektrum







44,1 %

beträgt der durchschnittliche Anteil an HSC-fähigen Fräsmaschinen in deutschen Werkzeugbaubetrieben

Fräsen und Drehen

Die Entwicklungen in jüngster Vergangenheit zeigen, dass sich die Fertigungsanteile innerhalb der Kerntechnologien des Werkzeugbaus in einem stetigen Wandel befinden.
Insbesondere in der Fräs- und Drehtechnologie gab es hinsichtlich Maschinen, Schneidstoffen und Prozessen weitreichende Fortschritte, wodurch sich die Fertigungsanteile zunehmend in Richtung der zerspanenden Prozesse, speziell HSC (HSC = High Speed Cutting), entwickeln. Vor allem in der Schlichtbearbeitung wird der Technologieeinsatz durch die Weiterentwicklungen des HSC-Fräsens verändert. Während früher Funkenerosions- und Schleiftechnologien für die Hartbearbeitung eingesetzt wurden, werden heute vielfach Frästechnologien eingesetzt, da diese neben einer hohen Produktivität und Arbeitsgenauigkeit zusätzlich ein besonderes Maß an geometrischer Flexibilität bieten. Verdeutlicht wird dieser Wandel durch den nahezu verdoppelten Anteil der HSC-fähigen Fräsmaschinen in deutschen Werkzeugbaubetrieben von 22,2 % auf 44,1 % in den letzten zehn Jahren.

Die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung lässt sich im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung durch deutlich erhöhte Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten bei geringeren Schnitttiefen und Zustellungen charakterisieren. Aus diesen Charakteristika der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung resultieren deutlich verbesserte Bearbeitungsgeschwindigkeiten und Arbeitsgenauigkeiten, wodurch der Aufwand für manuelle Nacharbeit verringert und zeitaufwendige Schleifoperationen zunehmend substituiert werden können.

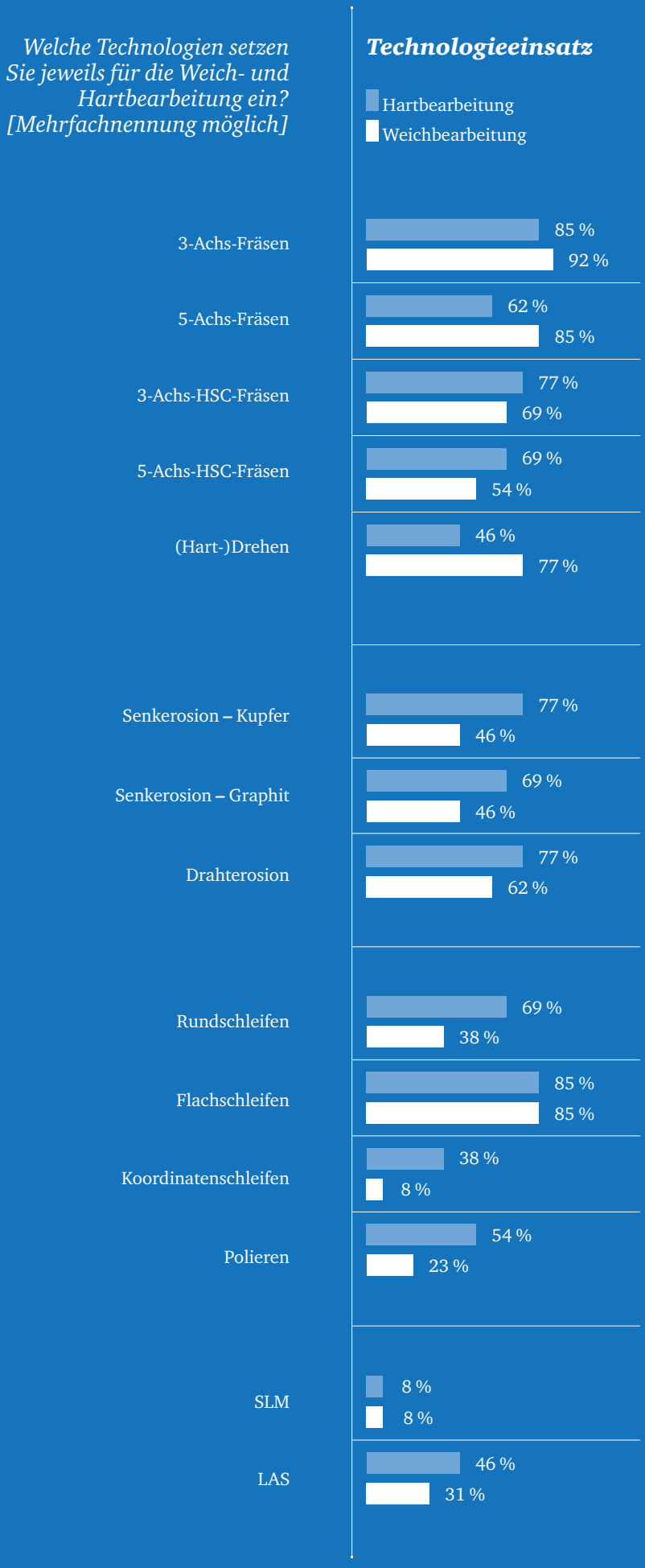
Das 5-achsige Fräsen bietet im Werkzeugbau eine Vielzahl an Vorteilen, die bereits bei einigen Unternehmen realisiert werden konnten. Dies liegt in erster Linie an den besser anpassbaren Schnittbedingungen innerhalb der Bahnplanung im Gegensatz zur 3-achsigen Bearbeitung. Dadurch können größere Zeilenbreiten bei werkzeugschonender Prozessführung realisiert werden sowie kürzere und stabilere Fräswerkzeuge bei gleichbleibender Erreichbarkeit nahezu beliebiger Geometrieelemente genutzt werden.

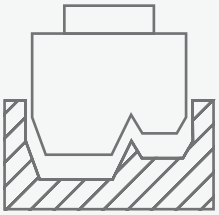
Auch in der Schruppbearbeitung gewinnt das 5-achsige Fräsen zunehmend an Bedeutung. Dies liegt vor allem an kontinuierlich anpassbaren Eingriffsbedingungen des Fräsers, wodurch Abweichungen beim Materialaufmaß auf Werkstückkonturen und 3D-Oberflächen maßgeblich reduziert werden können und somit verbesserte Prozessbedingungen in den nachfolgenden Schlichtbearbeitungen herrschen. Zusätzlich wird dadurch der Werkzeugverschleiß reduziert und die Prozesssicherheit gesteigert.

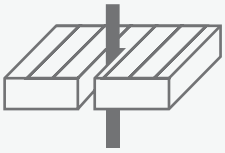
Die simultane 5-Achs Bearbeitung ermöglicht eine maximale Flexibilität hinsichtlich der zu bearbeitenden Geometrien, bedarf jedoch eines höheren Aufwands bei der vorgelagerten NC-Programmierung. Besonders vor dem Hintergrund des Programmieraufwands gilt daher in der mehrachsigen Fräsbearbeitung: „So viele Achsen wie nötig, so wenige Achsen wie möglich."

Neben der Stahlzerspanung gewinnt das 5-achsige HSC-Fräsen zusätzlich durch den steigenden Anteil an Graphitelektroden in der Senkerosion an Bedeutung. Aufgrund der sehr geringen Duktilität von Graphit, wird die Elektrodenherstellung meist durch die geeignetere HSC-Frästechnologie realisiert.

Welche Technologien setzen Sie jeweils für die Weich- und Hartbearbeitung ein? [Mehrfachnennung möglich]







Funkenerosion

Der steigende Anteil an Graphitelektroden in der Senkerosion ist vor allem durch die höhere Produktivität und den geringen Verschleiß zu begründen. Lediglich zur Bearbeitung von bestimmten Hartmetallen und zur Erzeugung sehr hoher Oberflächengüten kommt der ursprüngliche Elektrodenwerkstoff Kupfer noch zum Einsatz. Das funkenerosive Senken kommt im Allgemeinen dann zum Einsatz, wenn die technologischen Prozessgrenzen des Fräsens erreicht sind, oder eine wirtschaftliche Bearbeitung mit zerspanenden Fertigungsverfahren nicht mehr gewährleistet ist. Weiterhin sind komplexe 3D-Geometrien und filigrane Strukturen, wie beispielsweise kleinste Innenradien, schmale Stege oder hohe Aspektverhältnisse, das verbreitetste Anwendungsfeld der Senkerosion. Insbesondere die physikalisch begründete Unabhängigkeit von der Materialhärte qualifiziert die Senk- und Drahterosion für die Hartbearbeitung. Beim funkenerosiven Schneiden wird die verfahrenscharakteristische Kontur durch die Abbildung der Drahtelektrode und deren programmierten Schnittbahnen im Werkstück erzeugt. Das Verfahren ermöglicht die Erzeugung hochgenauer Schnitte durch elektrisch leitende Werkstücke.

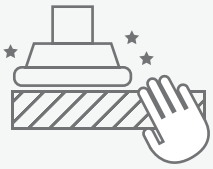
Schleifen

Das Schleifen ist nach wie vor ein elementarer Bestandteil einer Vielzahl von Prozessketten. Grundsätzlich wird das Schleifen im Werkzeugbau eingesetzt, sobald die zerspanenden oder funkenerosiven Fertigungstechnologien die Anforderungen hinsichtlich der Maßgenauigkeit und Oberflächengüte nicht erfüllen können oder der Einsatz aufgrund der technologischen Prozessgrenzen nicht wirtschaftlich gestaltet werden kann. Aufgrund der Weiterentwicklungen der Fräs- und Drehtechnologie im Anwendungsfeld der Hartbearbeitung, aber auch aufgrund der verbesserten Leistungsfähigkeit von Erosionsverfahren, nimmt der Einsatz des Schleifens kontinuierlich ab.

Die Schleiftechnologie umfasst eine Vielanzahl an Verfahrensvarianten, die sich hinsichtlich Kinematik, Zustellung und zu erzeugender Geometrie unterscheiden. Im Werkzeugbau werden überwiegend die Verfahren Flachschleifen, Rundschleifen, Profilschleifen und Koordinatenschleifen (bzw. Formschleifen) eingesetzt. Insbesondere das Flachschleifen besitzt im Werkzeugbau eine hohe Relevanz in der Technologiekette als Folgeprozess nach dem Vergüten von Werkstücken. Infolge der Wärmebehandlung kommt es im Werkstück zu makrogeometrischen Veränderungen, sodass durch das nachfolgende Flachschleifen eine plane Fläche erzeugt wird, die als Referenz für anschließende Fertigungsschritte dient.

Polieren

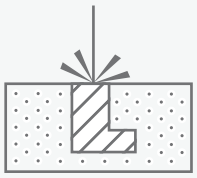
Neben dem Schleifen wird in der Regel das Polieren als letzter Bearbeitungsschritt in der fertigungstechnischen Prozesskette des Werkzeugbaus eingesetzt. Das Polieren wird ausschließlich zur Erzeugung von höchsten Oberflächengüten angewendet, wenn die Funktion im Produktionseinsatz dies erfordert. Dies kommt beispielsweise bei mechanisch hochbelasteten Werkzeugkomponenten vor und insbesondere wenn diese aufgrund einer vorgelagerten funkenerosiven Bearbeitung Randzonenschädigungen aufweisen. Bis heute ist das Verfahren aufgrund des hohen erforderlichen Prozessverständnisses nur in Ansätzen automatisiert und mit einem hohen Personaleinsatz verbunden.



Additive Fertigungstechnologien

Die additiven Fertigungstechnologien zeigen zunehmend größere Fertigungsrelevanz in den befragten Unternehmen. Das liegt vor allem an den jüngsten Leistungssprüngen in der Technologieentwicklung, den wachsenden Märkten der Maschinenhersteller und Systemanbieter sowie der vergleichsweise großen Vielfalt an verfügbaren (Pulver-)Werkstoffen. Speziell die Vorteile im Hinblick auf steigende Aufbauraten innerhalb der additiven Fertigungsverfahren sind schon heute deutlich erkennbar. Die Aufbauraten nehmen stetig zu, wodurch die Leistungsfähigkeit der Technologien beständig gesteigert wird. Das Potenzial, bestehende Prozessketten sinnvoll durch additive Fertigungstechnologien zu erweitern, wurde von vielen deutschen Werkzeugbauunternehmen erkannt. Dies belegt auch das konstant steigende Gesamtmarktvolumen der additiven Fertigungstechnologien über die letzten Jahre.

Insbesondere hinsichtlich der erzielbaren Oberflächengüte und Maßtoleranz weisen die additiven Fertigungstechnologien noch erhebliche Schwächen auf, die mit kommenden Maschinengenerationen sukzessive abgebaut werden müssen, um die Anwendungsmöglichkeiten im Werkzeugbau zu erweitern. Das vielversprechendste Einsatzgebiet der additiven Fertigungstechnologien ist die Herstellung von Werkzeugkomponenten. Ein Schwerpunkt ist hier die Fertigung von konturnahen Kühlkanälen in Spritzgieß- und Warmumformwerkzeugen, um die Produktionseffizienz gegenüber konventionell hergestellten Werkzeugkühlungen zu steigern. Dadurch können nachweislich kürzere Zykluszeiten und Ausschussreduzierungen erreicht werden.



07
08
09
10
11
12
13
10
11
12

Anforderungen an die Werkzeugfertigung

Das sich wandelnde Produktspektrum der Kunden des Werkzeugbaus in Kombination mit den Weiterentwicklungen in den Forschungsfeldern der Fertigungstechnologien, Software- und Informationstechnologie, sowie Maschinen- und Automatisierungstechnik zwingt den Werkzeugbau zu kontinuierlichen Investitionen in den Maschinenpark.

Nur durch eine systematische Planung und Auswahl der Technologien und Maschinen kann eine flexible und zugleich produktive Werkzeugfertigung für das stark divergierende Werkstückspektrum langfristig gewährleistet werden. Zusätzlich ist im Kundenmarkt des Werkzeugbaus neben der Derivatisierung eine stetige Verkürzung der Produktlebenszyklen in den vergangenen Jahren zu beobachten. Für den Werkzeugbau bedeutet dies eine steigende Anzahl und Vielfalt an Werkzeugen, die jedoch in immer kürzeren Zeiten hergestellt und für den Produktionseinsatz qualifiziert werden müssen. Gleichzeitig müssen Werkzeugbaubetriebe ihre Kosteneffizienz erhöhen, um ein wettbewerbsfähiges Preisniveau am globalen Markt anbieten zu können.

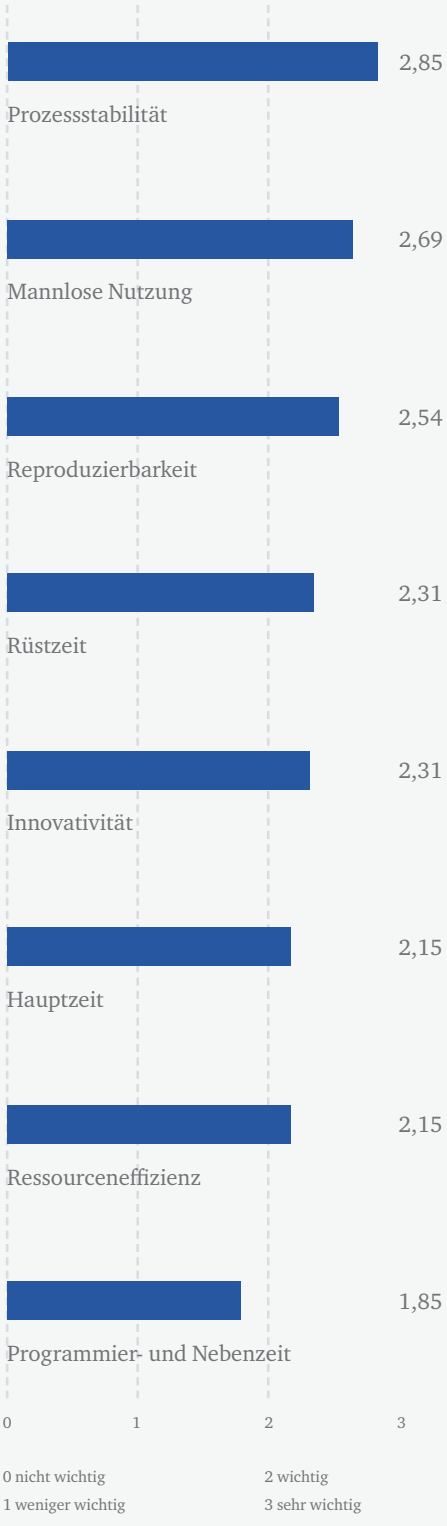
Um den wachsenden Herausforderungen im Produktionsumfeld begegnen zu können, wurden in den vergangenen Jahren in einer Vielzahl deutscher Werkzeugbauunternehmen umfangreiche technologische und organisatorische Veränderungsmaßnahmen auf dem Weg zum industriellen Werkzeugbau implementiert. Durch die verstärkte industrielle Auftragsabwicklung entlang der gesamten Wertschöpfungskette ist der Werkzeugbau in der Lage, deutlich effizienter zu produzieren, die Durchlaufzeit zu verringern und die Termintreue dem Kunden gegenüber zu verbessern. Die zuvor beschriebenen Fertigungstechnologien werden innerhalb dieser Prozesskette eingesetzt, um die technologischen Anforderungen vom Rohmaterial oder Halbzeug bis hin zum fertigen Endprodukt zu erfüllen. Darin inbegriffen ist, neben den eigentlichen Fertigungsprozessen, auch die abgestimmte Verkettung der Einzeltechnologien und Produktionsmaschinen. Dadurch schaffen es viele deutsche Werkzeugbauunternehmen, sich über die Höherwertigkeit des Leistungserstellungsprozesses und des Werkzeugs selbst gegenüber dem breiten Wettbewerb zu differenzieren. Grundlage für eine solche Differenzierung sind organisatorisch und technologisch optimal ausgelegte Prozessketten in der Werkzeugkonstruktion und -produktion. Entlang dieser Prozesskette ist die anzustrebende Zielgröße die maximale Effektivität der einzelnen Fertigungsprozesse, sozusagen die Antwort auf die Frage nach dem Einsatz der „richtigen Fertigungstechnologien“. Innerhalb der einzelnen Prozessschritte gilt es eine maximale Effizienz zu erreichen, also die Fragestellung nach dem „richtigen Einsatz“ der Fertigungstechnologien zu beantworten. Diese erweiterte Sicht um die Effizienz des Fertigungsprozesses selbst muss konsequenterweise in der Auslegung und Planung der maschinellen Fertigung berücksichtigt werden, da nur so ein wirtschaftliches Optimum erzielt werden kann.

Zielgrößen

Die vom Markt geforderten Zielgrößen, die Durchlaufzeiten zu verkürzen und die Werkzeugfertigung qualitativ sowie termintreu einzuhalten, resultieren in der Forderung nach schnellen, stabilen und fehlerfreien Fertigungsprozessen und deren optimaler Verkettung.

Die Durchlaufzeit setzt sich grundsätzlich aus den Fertigungszeiten sowie Transport- und Liegezeiten zusammen. Die Fertigungszeit kann wiederum in die Hauptzeit (auch Bearbeitungszeit genannt), Rüstzeit sowie Programmier- und Nebenzeit unterteilt werden. Auch wenn der größte Anteil an der Durchlaufzeit nicht die Fertigungszeit, sondern die Transport- und Liegezeiten sind, ist der zeitliche Einfluss auf die Durchlaufzeit, durch die erzielte Fertigungsqualität, weit größer als nur der Zeitanteil der Fertigungsprozesse. Der abgestimmte Einsatz leistungsfähiger Fertigungstechnologien beeinflusst in hohem Maße die Durchlaufzeit der Werkzeuge, indem durch stabile und fehlerfreie Fertigungsprozesse die geplanten Fertigstellungstermine eingehalten werden können. Folglich sind neben den Bearbeitungszeiten und den Kosten für die jeweiligen Fertigungsprozesse, auch deren Qualität bzw. Stabilität von entscheidender Bedeutung. Diese Zusammenhänge können durch die Antworten auf die Fragestellung nach der Relevanz der Prozesscharakteristika in den befragten Unternehmen bestätigt werden.

Schätzen Sie die Relevanz der folgenden Prozesscharakteristika in ihren Unternehmen ein!



Prozesscharakteristika

Die Bedeutung der häufig vernachlässigten Aspekte Ressourceneffizienz und Innovativität wird zukünftig sowohl in der Prozessbetrachtung als auch in der Investitionsentscheidung neuer Maschinen steigen. Jedoch spielen diese Charakteristika, aufgrund des anteilsmäßig geringeren Einflusses auf die Effizienz des Fertigungsprozesses, insgesamt eine untergeordnete Rolle.

Die höchste Relevanz für die befragten Werkzeugbauunternehmen besitzen die Prozesscharakteristika Prozessstabilität, mannlose Nutzung und Reproduzierbarkeit. Dies resultiert aus den Bestrebungen zur höheren Produktivität und Kostenreduzierung im Zuge der Industrialisierung des Auftragsabwicklungsprozesses. Diese Charakteristika sind vor allen Dingen dahingehend relevant, dass sie Grundvoraussetzungen für die Implementierung einer automatisierten Werkzeugfertigung sind. Hiermit lassen sich die Anteile der Bearbeitungszeiten im Werkzeugportfolio beispielsweise auf die Nachtstunden oder Wochenenden verlegen, wodurch der Maschinenauslastungsgrad deutlich gesteigert wird. Die mannlose Nutzung der Fertigungsmaschinen sowie die Reproduzierbarkeit der Fertigungsprozesse sind Möglichkeiten und Maßnahmen, die sich auf Basis einer maximalen Prozessstabilität realisieren lassen.

Die Ergebnisse der Unternehmensbefragung sowie die wissenschaftliche Perspektive auf die Leistungsfähigkeit von Fertigungsprozessen identifiziert die Bearbeitungszeit, die Kosten und die Prozessstabilität als die relevantesten Kenngrößen, die im Folgenden genauer charakterisiert werden.

Die Hauptzeit ist die Zeit, bei der ein unmittelbarer Fortschritt im Sinne des Fertigungsauftrags durch das Wirken der Fertigungstechnologie generiert wird. Demzufolge sind beispielsweise hohe Abtragraten, Zeitspanvolumina oder Aufbauraten entscheidend für kurze Hauptzeiten.

Als gesamte Prozesskosten sind, neben den fixen Kosten, vordergründig die variablen Kosten zu berücksichtigen, die durch den Prozess an sich verursacht werden. Die reinen Prozesskosten werden erheblich von den Anforderungen der Bearbeitungsaufgabe und der jeweiligen Bearbeitungsstrategie bestimmt und äußern sich beispielsweise in Form von verwendeten Bearbeitungswerkzeugen, Kühl- und Schmierstoffen sowie der benötigten Energie.

Die Prozessstabilität ist ein qualitatives Maß für die Zuverlässigkeit eines Fertigungsprozesses und beschreibt die Fähigkeit, ein gefordertes und vorhergesagtes Ergebnis durch den beherrschten Bearbeitungsprozess zu erzielen. Die Stabilität und Störungsunanfälligkeit der Fertigungsprozesse ist insbesondere in der Einzel- und Kleinstserienfertigung des Werkzeugbaus von enormer Bedeutung, da die Herstellung eines Ausschussteils zu hohen Kosten führen kann.

Anforderungsgerechter Einsatz der Fertigungs-technologien

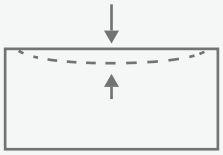
Die fertigungstechnologischen Anforderungen sowie die Wechselwirkungen mit den jeweiligen Fertigungsprozessen müssen bekannt und verstanden sein, um die Fertigungstechnologien wirtschaftlich auslegen und einsetzen zu können.

Die gesamte strategische Auslegung und operative Umsetzung der maschinellen Fertigung hängt vorrangig von dem zu fertigenden Produktspektrum des Werkzeugbaus ab. Um den anforderungsgerechten Einsatz der Fertigungstechnologien und impliziten Ressourcen ausreichend bewerten zu können, müssen diese hinsichtlich der drei relevantesten Zielgrößen Bearbeitungszeit, Bearbeitungskosten und der Prozessstabilität analysiert werden. Nur dadurch kann eine repräsentative Aussage über die technologische und wirtschaftliche Eignung einer Fertigungstechnologie für definierte Anforderungen getroffen werden.

Auf Basis der Erläuterungen in den vorangegangenen Kapiteln wurden die Werkzeugbauunternehmen nach deren qualitativer Einschätzung der Prozesscharakteristika für jede Fertigungstechnologie in Abhängigkeit der Ausprägung der Werkstückanforderungen befragt. Um die Gesamtheit der Werkstückeigenschaften ausreichend zu repräsentieren, werden im Folgenden die Werkstoffhärte, das Aspektverhältnis, die Geometriecharakteristik und der minimale Konturradius sowie die mikrogeometrischen Kenngrößen Maßtoleranz und Oberflächenrauheit betrachtet. Trotz divergierender Produktspektren und unternehmensspezifischer Randbedingungen der befragten Unternehmen konnten im Rahmen der Studie durchweg korrelierende Ergebnisse beobachtet werden.

13,8

beträgt die durchschnittliche Anzahl eingesetzter Fertigungstechnologien

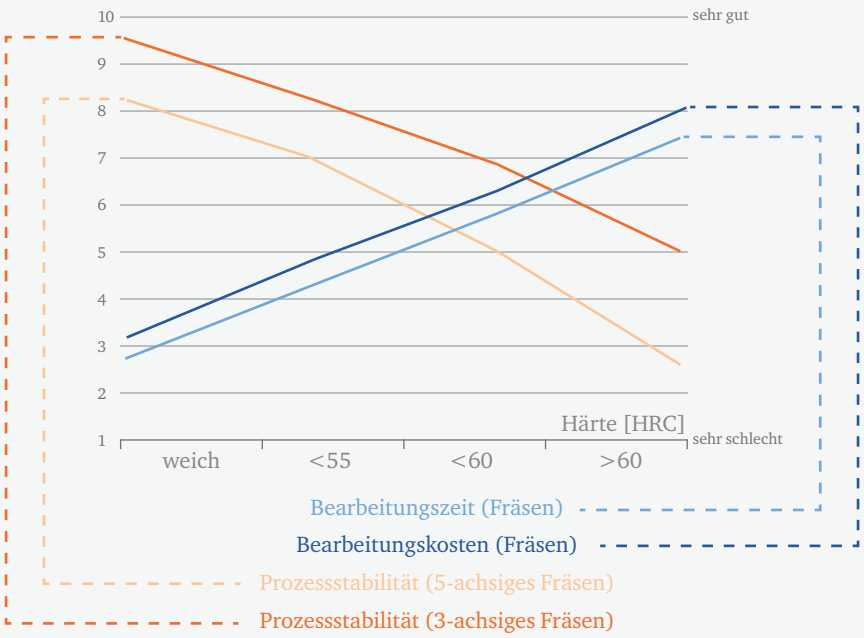


Härte

Die Härte des zu bearbeitenden Werkstücks ist in vielen Fällen das ausschlaggebende Kriterium für die Entscheidung zwischen zerspanender und abtragender Bearbeitung. Im Gegensatz zu der Unabhängigkeit der funkenerosiven Fertigungstechnologien von der Werkstoffhärte sowie einer sehr guten Eignung des Schleifens für gehärtete Werkstücke, existieren besonders in der Frästechnologie eine Vielzahl von technologisch-wirtschaftlichen Fragestellungen bezüglich der Hartbearbeitung. Auch die Ergebnisse der Unternehmensbefragung ergeben bei der Senkerosion, der Drahterosion und dem Schleifen eine nahezu konstant sehr gute Prozessstabilität und geringe Kosten über alle Härtebereiche. Dagegen sind die prozesstechnischen Auswirkungen beim Fräsen und Drehen bezogen auf die Härte vergleichsweise enorm. Der wesentliche Fokus liegt hier auf dem Einsatz des (simultanen) 5-achsigen Fräsens im Vergleich zum noch verbreiteteren 3-achsigen Fräsen. Bei beiden Verfahrensvarianten steigt die Bearbeitungszeit deutlich an, da mit höherer Werkstoffhärte das Zeitspanvolumen kontinuierlich abnimmt. Basierend auf dem höheren zeitlichen und technischen Aufwand steigen auch die Bearbeitungskosten bei Verwendung des Fräsens.

Der wesentliche Unterschied besteht in der Prozessstabilität in Abhängigkeit von der Anzahl bewegter Achsen in Verbindung mit der Werkstoffhärte. Die höhere kinematische Komplexität der 5-achsigen Bearbeitung resultiert in anspruchsvollen Frässtrategien und Bahnplanungen, was mit einer höheren Gefahr für Kollisionen und Bearbeitungsfehler einhergeht und dadurch die Prozessstabilität gegenüber dem 3-achsigen Fräsen signifikant reduziert. Eine deutliche Verbesserung kann hier die HSC-Technologie bewirken,

Prozesscharakteristika über die Härte

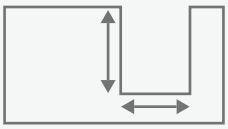


indem durch hohe Temperaturen in der Zerspanzone die Prozesskräfte verringert und somit die Risiken von Bearbeitungsfehlern infolge von Verschleiß und Verbiegung eingeschränkt werden. Die gesamte CAM-Planung und NC-Programmierung für komplexe 5-Achs-Bearbeitungen verlangt derzeit noch einen vergleichsweise beträchtlichen Aufwand und hohes Technologiewissen, was die höheren Kosten nur in besonderen Fällen rechtfertigt. Daher weist das 5-achsige simultane HSC-Fräsen im Werkzeugbau derzeit noch keine vollständige Marktdurchdringung auf.

Bearbeitungszeit und Bearbeitungskosten sowie deren Zusammenhang mit der Werkstoffhärte werden aus aktueller Perspektive bei der 3-Achs-Fräsbearbeitung wie bei der 5-Achs-Fräsbearbeitung sehr ähnlich eingeschätzt. Zwar können in der Regel aufgrund der höheren Prozessstabilität beim 3-achsigen Fräsen höhere Zerspanraten eingestellt werden, jedoch ermöglicht die 5-achsige Bearbeitung eine Reduktion von zeitintensiven Umspannvorgängen des Werkstücks.

Die 5-Achs-Fräsbearbeitung wird innerhalb der nächsten Jahre, von dem hohen Potenzial ausgehend, weiter an Attraktivität für Werkzeugbaubetriebe gewinnen. Besonders der stärker aufkommende Trend zur Kompletthartbearbeitung in einer Aufspannung stellt die Potenziale der 5-achsigen Fräsbearbeitung in den Vordergrund. Um die in führenden deutschen Werkzeugbaubetrieben erwartete Zunahme der Relevanz von 5-achsiger Frästechnologie zu realisieren, muss jedoch insbesondere die Prozessstabilität steigen und der Aufwand zur CAM-Programmierung reduziert werden.

Aspektverhältnis



Die Maße, die Zugänglichkeit und das Aspektverhältnis der zu fertigenden Geometrie in einem Werkstück bestimmen maßgeblich die Auswahl der Fertigungstechnologie für die jeweilige Bearbeitungsaufgabe. Insbesondere für die Erzeugung der komplexen Kavitäten in Spritz- und Druckgießwerkzeugen ist ein tiefgehendes Prozesswissen notwendig, um im Einzelfall letztendlich die technologisch und wirtschaftlich bessere Entscheidung zu treffen.

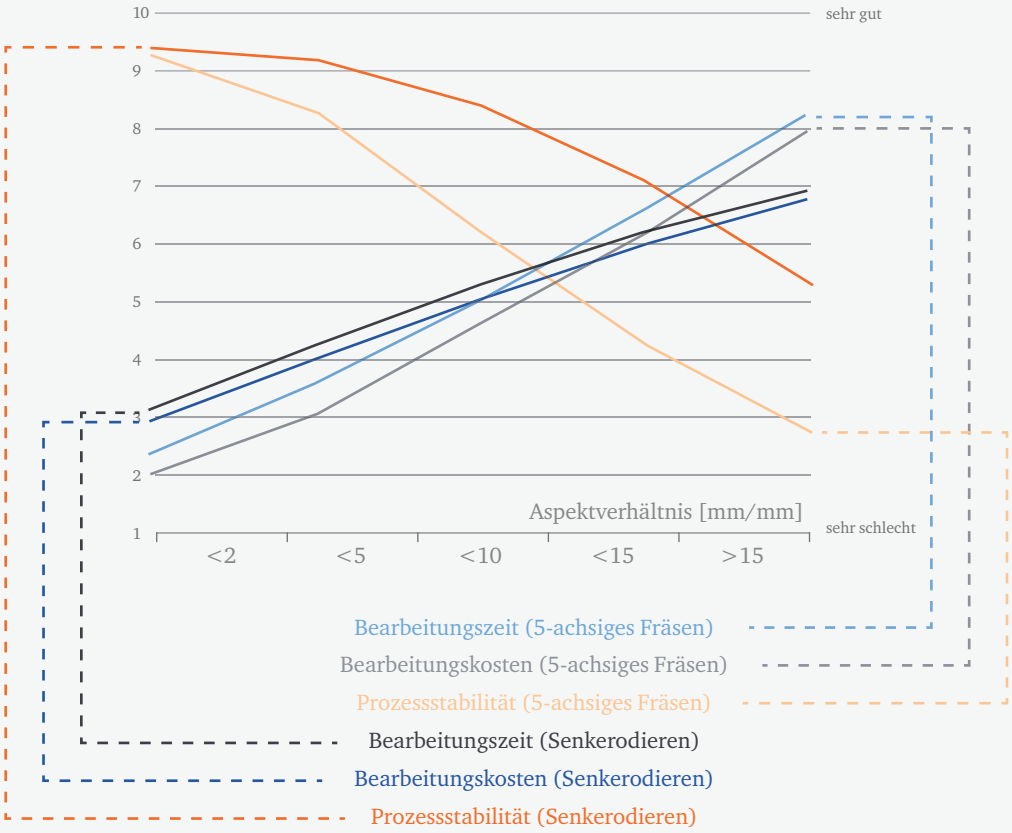
Prinzipiell wird die Drahterosion von den befragten Unternehmen als die geeignetste Fertigungstechnologie für die Realisierung von hohen Aspektverhältnissen gesehen. Jedoch müssen für die Anwendungsmöglichkeiten verfahrensbedingte Einschränkungen aufgrund der geometrischen Freiheitsgrade gemacht werden. Beispielsweise erfordern Innenkonturen die Einbringung einer Startlochbohrung, die entweder durch das funkenerosive Senken oder zerspanend durch Bohren eingebracht wird.

Die Einsatzmöglichkeiten des Fräsens, Drehens und Schleifens sind für hohe Aspektverhältnisse meist durch die geometrischen und kinematischen Restriktionen der Verfahren selbst sowie der verwendeten Werkzeuge (Fräswerkzeug, Drehmeißel, Schleifscheiben und -stifte) begrenzt. In allen zerspanenden Fertigungstechnologien steigen die Bearbeitungskosten und -zeiten mit großen Aspektverhältnissen sehr stark an. Zudem nimmt die Prozessstabilität so weit ab, dass ab einer bestimmten Anforderungs-

ausprägung die Senkerosion als die technologisch und wirtschaftlich bessere Fertigungstechnologie gekennzeichnet ist.

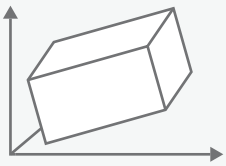
Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass für kleinere Aspektverhältnisse das 5-Achs-Fräsen die schnellere und günstigere Alternative ist, insbesondere da die frästechnische Herstellung der Elektrode entfällt. Übersteigt das zu fertigende Aspektverhältnis einen Wert von ca. 10, rechtfertigt auch die deutlich höhere Prozessstabilität den Einsatz der Senkerosion. Trotz initial höherem Aufwand bei der Elektrodenherstellung, erweist sich die Senkerosion als das insgesamt schnellere und günstigere Verfahren bei hohen Aspektverhältnissen.

Prozesscharakteristika über das Aspektverhältnis



Geometriecharakteristik

Die Geometriecharakteristik des Werkstücks kann durch die Kombination verschiedener Grundkörper beschrieben werden, innerhalb derer zwischen prismatischen Grundkörpern (2D-Oberflächen) und solchen, die durch Freiformflächen beschrieben sind, unterschieden wird. Freiformflächen werden in der Praxis auch als 3D-Geometrien bezeichnet. Mit zunehmendem Anteil an 3D-Geometrien steigen der Aufwand und die Schwierigkeit der Bearbeitungsaufgabe, da numerisch gesteuerte Fertigungsprozesse und in manchen Fällen auch mehrachsige Bearbeitungen notwendig werden.



Folglich zeigt sich auch bei den befragten Unternehmen, dass die zerspanenden Fertigungstechnologien Fräsen, Drehen und Schleifen mit einer Verdopplung hinsichtlich Bearbeitungszeit und -kosten bei 3D-Bearbeitungsaufgaben im Vergleich zu 2D-Bearbeitungsaufgaben beurteilt werden. Auch beim funkenerosiven Schneiden steigen verfahrens- und maschinenbedingt der monetäre und zeitliche Aufwand mit höherer Geometriekomplexität, was vor allem durch einen notwendigen, aber geometrisch begrenzten Konizitätswinkel zu begründen ist. Die Senkerosion zeigt sich hingegen am geringsten durch unterschiedlich komplexe Geometrieelemente beeinflusst.

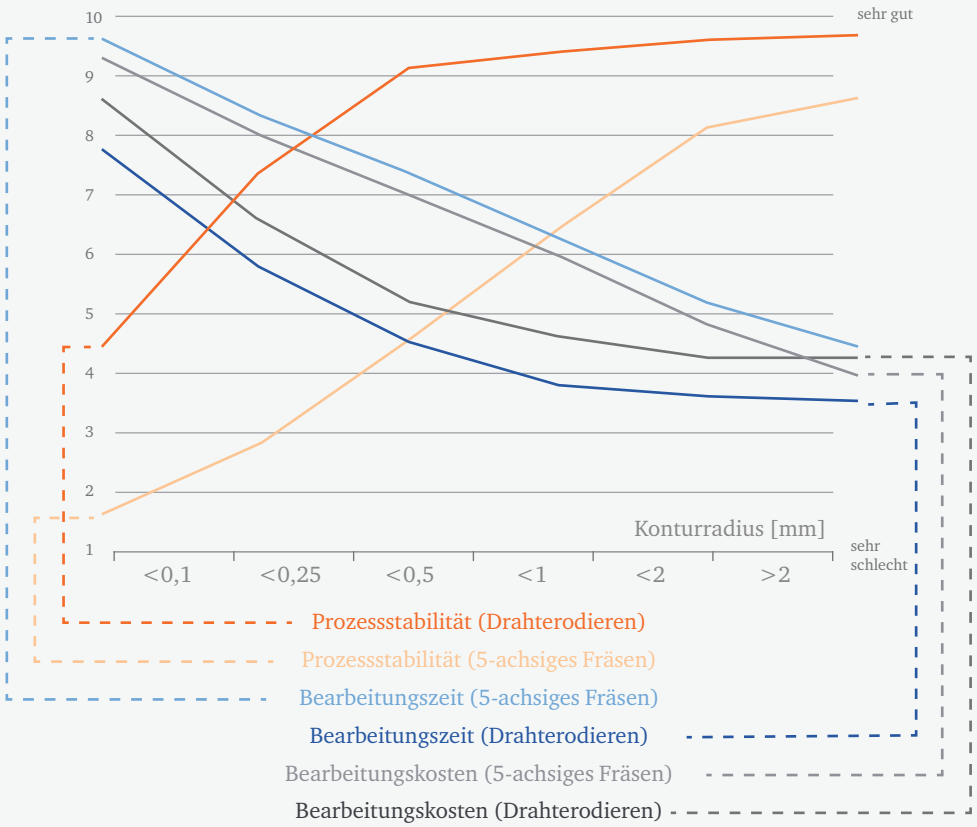
Konturradius

Der zu fertigende minimale Konturradius wird beim Fräsen und Drehen durch die Geometrie der Werkzeugschneide festgelegt. Kleine Kugelfräser und Drehmeißel dürfen im Fertigungsprozess weniger stark belastet werden, um Verbiegung zu vermeiden und die Bearbeitungsqualität einzuhalten. Daher müssen Vorschübe und Zustellungen verringert werden, um die wirkenden Prozesskräfte zu reduzieren. Diese prozesstechnischen Anpassungen resultieren dementsprechend in höheren Bearbeitungszeiten und -kosten sowie geringeren Prozessstabilitäten. Vergleichbare Zusammenhänge lassen sich auch beim Schleifen beobachten, da die Schleifscheiben und -stifte ähnliche Prozesseigenschaften aufweisen.

Eine deutlich bessere Prozessstabilität lässt sich bei der Senk- und Drahterosion feststellen. Durch die Fertigung von scharfkantigen Elektroden oder dem Einsatz von dünnen Drähten können entsprechend kleine Konturradien im Werkstück vergleichsweise einfach eingebracht werden. Lediglich der Elektrodenverschleiß und eine gewisse Breite des Arbeitsspalts können das Bearbeitungsergebnis qualitativ mindern.

Die Drahterosion hat eine besondere Bedeutung im Spritzgießwerkzeugbau der Elektrik- und Elektronikindustrie sowie bei der Herstellung von scharfkantigen Stempeln und Matrizen in Blechverarbeitungswerkzeugen. Die dort exemplarisch vorherrschenden hohen Anforderungen hinsichtlich Werkstoffhärte und kleinen Konturradien qualifizieren die Drahterosion in besonderem Maße. Im Vergleich mit der 5-achsigen Fräsbearbeitung zeigt die Einschätzung der befragten Unternehmen eine deutliche Differenz der Prozessstabilität ab Konturradien kleiner 1 mm. Die Bearbeitungszeit und -kosten steigen bei Konturradien im Bereich von 0,1 mm jedoch stark an, da bei derart hohen Anforderungen sowohl mehrere konturnahe Nachschnitte notwendig sind, als auch im Allgemeinen dünnere Drähte mit hochwertigeren Beschichtungen verwendet werden müssen.

Prozesscharakteristika über den Konturradius



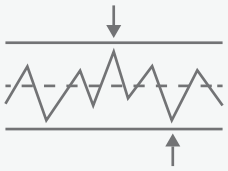
Maßtoleranz

Sowohl der Anteil an hochgenau tolerierten Werkzeugelementen im µ-Bereich, als auch die Anforderungen an die Maßtoleranz selbst haben sich in den vergangenen Jahren zunehmend erhöht. Getrieben aus den produktseitigen Anforderungen, muss die Bearbeitungspräzision und die Wiederholgenauigkeit der Fertigungstechnologien und -maschinen gleichermaßen gesteigert werden. Essentiell für die Einhaltung der Maßtoleranzen entlang der gesamten Fertigungsprozesskette sind der durchgängige Einsatz hochgenauer Spannsysteme und der Positionskontrolle in der Maschine sowie die regelmäßige maschineninterne oder -externe Vermessung der Werkstücke und Bearbeitungswerkzeuge.

Obwohl die Gewährleistung der geforderten Maßtoleranzen zum Großteil von der Genauigkeit der jeweils eingesetzten Maschinen und deren NC Programmierung abhängig ist, weisen die Fertigungstechnologien aufgrund der charakteristischen Verfahrenseigenschaften Tendenzen hinsichtlich der Maßtoleranzanforderungen auf. Die befragten Unternehmen schätzen, dass beim Fräsen, Drehen und funkenerosiven Fertigungsverfahren der zeitliche und monetäre Aufwand im Maßtoleranzbereich von ca. 2 µm ungefähr doppelt so groß wie der Aufwand im Toleranzbereich von ca. 20 µm ist. Einzig das Schleifen zeichnet sich durch eine geringer abnehmende Prozessstabilität in hochgenauen Bereichen aus und ist in Abhängigkeit der übrigen Werkstückcharakteristika in der Regel das wirtschaftlichste Verfahren in der Finish-Bearbeitung. Aus diesen Gründen sollten die Fertigungstechnologien immer

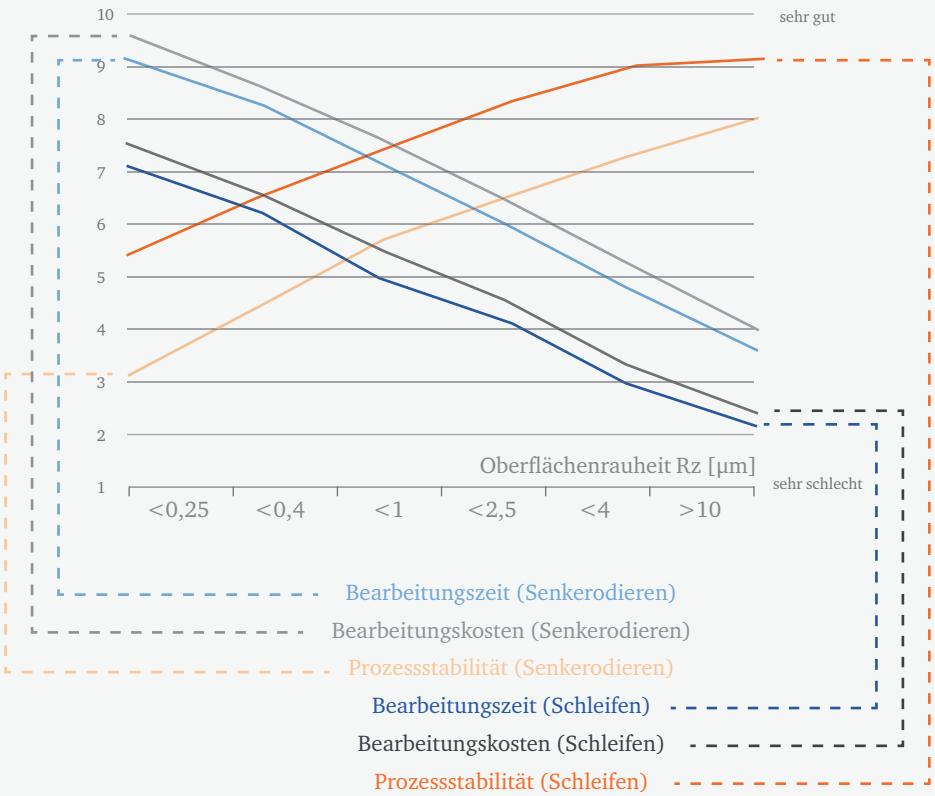
so ausgewählt und eingesetzt werden, dass die Toleranzanforderungen ausreichend genau eingehalten werden können, aber nicht deutlich übererfüllt sind.

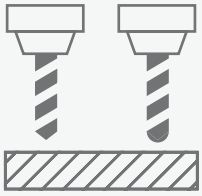
Oberflächenrauheit



Die Bearbeitungsschritte am Ende der fertigungstechnologischen Prozesskette sind heute noch primär durch Schleif- und Polierarbeiten gekennzeichnet, um die geforderten Oberflächengüten insbesondere auf den formgebenden Werkzeugteilen zu erzeugen. Die Weiterentwicklungen in der HSC-Technologie sowie die präzise Maschinenkinematik moderner Fräsmaschinen verschieben die Fertigungsanteile an der finalen Oberflächenbearbeitung zunehmend in Richtung der Frästechnologie. Auch in der Funkenerosion können durch eine leistungsfähige Generatortechnik und zweckmäßig ausgelegte Prozessparameter anforderungsgerechte Oberflächengüten (R_z) von deutlich unter 1 µm erzielt werden. Trotz erkennbarer Optimierungen der funkenerosiven Fertigungstechnologien, zeigt sich in der Einschätzung der Studienteilnehmer, dass der Einsatz des Schleifens trotz vergleichsweise hoher Prozesszeiten als finaler Bearbeitungsschritt zur Realisierung hoher Oberflächengüten noch immer das wirtschaftlichste Verfahren ist. In Abhängigkeit von der verfahrens- und werkstückspezifischen Bearbeitungsaufgabe zeichnet sich das Schleifen weiterhin durch eine hohe Prozessstabilität selbst in Rauheitsbereichen von Rz = 0,25 µm aus.

Prozesscharakteristika über die Oberflächenrauheit



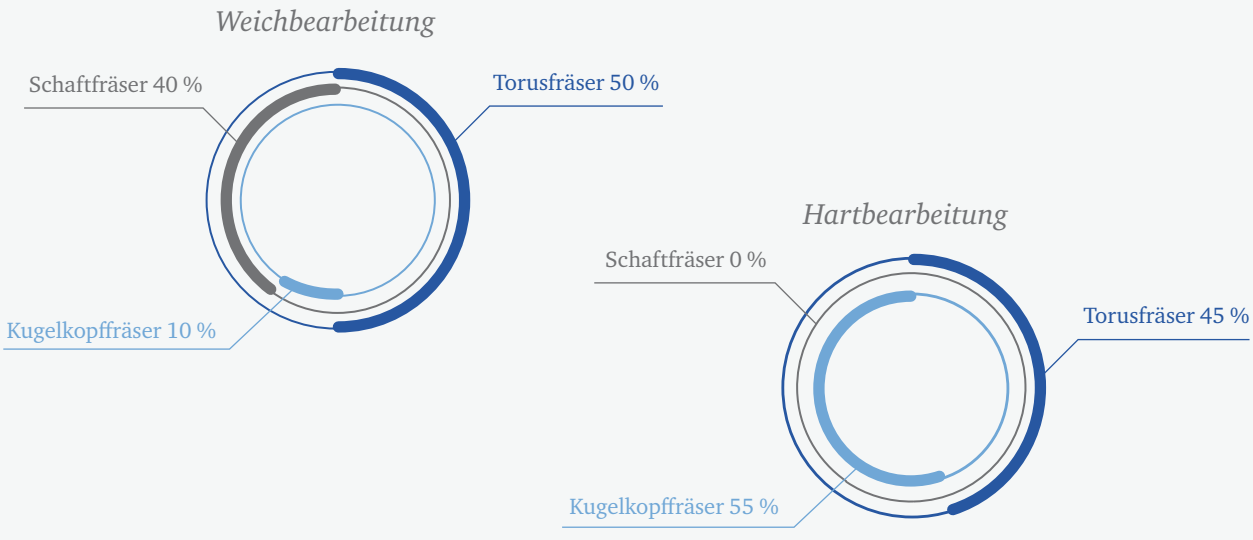


Fräswerkzeugeinsatz

Die Einschätzung der befragten Unternehmen hinsichtlich der Prozesscharakteristika für unterschiedliche Anforderungen spiegelt eindeutig die hohe Relevanz des 5-achsigen Fräsens im Werkzeugbau wider. Einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis der Fräsbearbeitung hat, neben der Fräsmaschine und der NC-Programmierung, das eingesetzte Fräswerkzeug. Die Eingriffskinematik zwischen dem Werkstück und dem Fräser sowie die jeweiligen Werkstoffeigenschaften bestimmen die Bedingungen in der Zerspanzone. Die geometrischen und technologischen Eigenschaften des Fräswerkzeugs determinieren somit die Zerspanleistung, die Oberflächenqualität und die geometrische Flexibilität der Bearbeitungsaufgabe. Insbesondere durch die Verwendung material- und geometriespezifischer Fräswerkzeuge kann die Qualität, Stabilität und Leistungsfähigkeit der 5-Achs-Fräsbearbeitung signifikant erhöht werden. Beschichtete Tonnen- oder Kreissegmentfräswerkzeuge sind bereits am Markt erhältlich. Sie führen zu einer homogenen Fräswerkzeug- und Werkzeugmaschinenbelastung, die sich wiederum auf die Oberflächenqualität und Maßhaltigkeit des Werkstücks auswirkt. Eine vollumfängliche Implementierung der geeigneten Frässtrategien in CAM-Systeme zur Verwendung der jeweiligen Fräswerkzeuge (insbesondere Tonnenfräser) steht hingegen noch aus.

In der Schruppbearbeitung von ungehärteten Werkzeugstählen kommen vornehmlich Torusfräser (50 %) und Schaftfräser (40 %) zum Einsatz. Diese Tatsache ist durch die Fräsergeometrie begründet, da sich mit diesen Fräswerkzeugtypen die entsprechenden Prozessgrößen zur Erreichung hoher Zeitspanvolumina realisieren lassen.

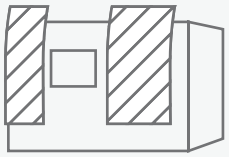
In der Hartbearbeitung hingegen setzt keines der befragten Unternehmen Schaftfräser ein. Hier dominieren kleine Kugelkopffräser, die bei der finalen Erzeugung von geometrisch anspruchsvollen Freiformflächen, filigranen Strukturen und kleinen Innenradien beim Schlichtfräsen am geeignetsten sind. Neben der 5-achsigen simultanen HSC-Fräsbearbeitung und neuen Fräswerkzeuggeometrien wird gleichzeitig der Einsatz neuer Schneidstoffe und -beschichtungen erforscht. Hier stellen mit Hartstoffen beschichtete Fräswerkzeuge enorme Anwendungspotenziale bei der Bearbeitung von Werkstoffen jenseits von 65 HRC dar.



Maschinencharakteristika

Nachdem in Anlehnung an die vorherigen Abschnitte die Anforderungen aus dem Werkstückspektrum sowie der optimale Einsatz der Fertigungstechnologien analysiert und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet wurden, stehen Werkzeugbauunternehmen häufig vor der entsprechenden Investitionsentscheidung. In Abhängigkeit der unspezifischen Rahmenbedingungen und der Angebotsvielfalt der Maschinenhersteller sind trotz teils quantitativer Bewertungsmethoden die Investitionen mit Unsicherheiten behaftet. Damit unter Berücksichtigung der technologischen und wirtschaftlichen Anforderungen die Investitionen in neue Fertigungsmaschinen und deren Ausstattungen zweckmäßig und systematisch erfolgen, gilt es die wichtigsten Kriterien zur Maschinenauswahl zu identifizieren. Im Rahmen der Studie wurden daher die Unternehmen nach den relevantesten Maschinencharakteristika und -ausstattungen in den Kerntechnologien des Werkzeugbaus befragt.

Die relevantesten Aspekte einer Fräsmaschine sind die Kinematik und die Positioniergenauigkeit. Die Positioniergenauigkeit wurde von allen befragten Unternehmen als relevante Größe zur Auswahl neuer Fräsmaschinen genannt. Neben der zu berücksichtigenden Achsanzahl sind die relevantesten Größen zur Beschreibung der Kinematik einer Fräsmaschine die Spindeldrehzahl, die Vorschubgeschwindigkeit und die Nennleistung der Spindel. Diese Größen bestimmen in besonderem Maße die Produktivität und legen ferner die HSC-Fähigkeit der Fräsmaschine fest. Die Anpassung von Spindeldrehzahl und Vorschubgeschwindigkeit ermöglichen es darüber hinaus, weitere fertigungstechnologische Größen zu erreichen, beispielsweise die Einstellung von Schnittparametern in einem breiten Prozessfenster. Als weitere relevante Größen zur Auswahl einer Fräsmaschine gelten die NC-Fähigkeit und CAM-Schnittstelle, der Werkzeugwechsler, das Werkzeugmesssystem sowie das Palettiersystem. Über 50 % der befragten Unternehmen geben die genannten Maschinenausstattungen als wichtige Kriterien an. Dieses Ergebnis resultiert maßgeblich aus der hohen geforderten Produktivität im industriellen Werkzeugbau, da diese Charakteristika als Voraussetzungen für einen hohen Automatisierungsgrad zwingend erforderlich sind.

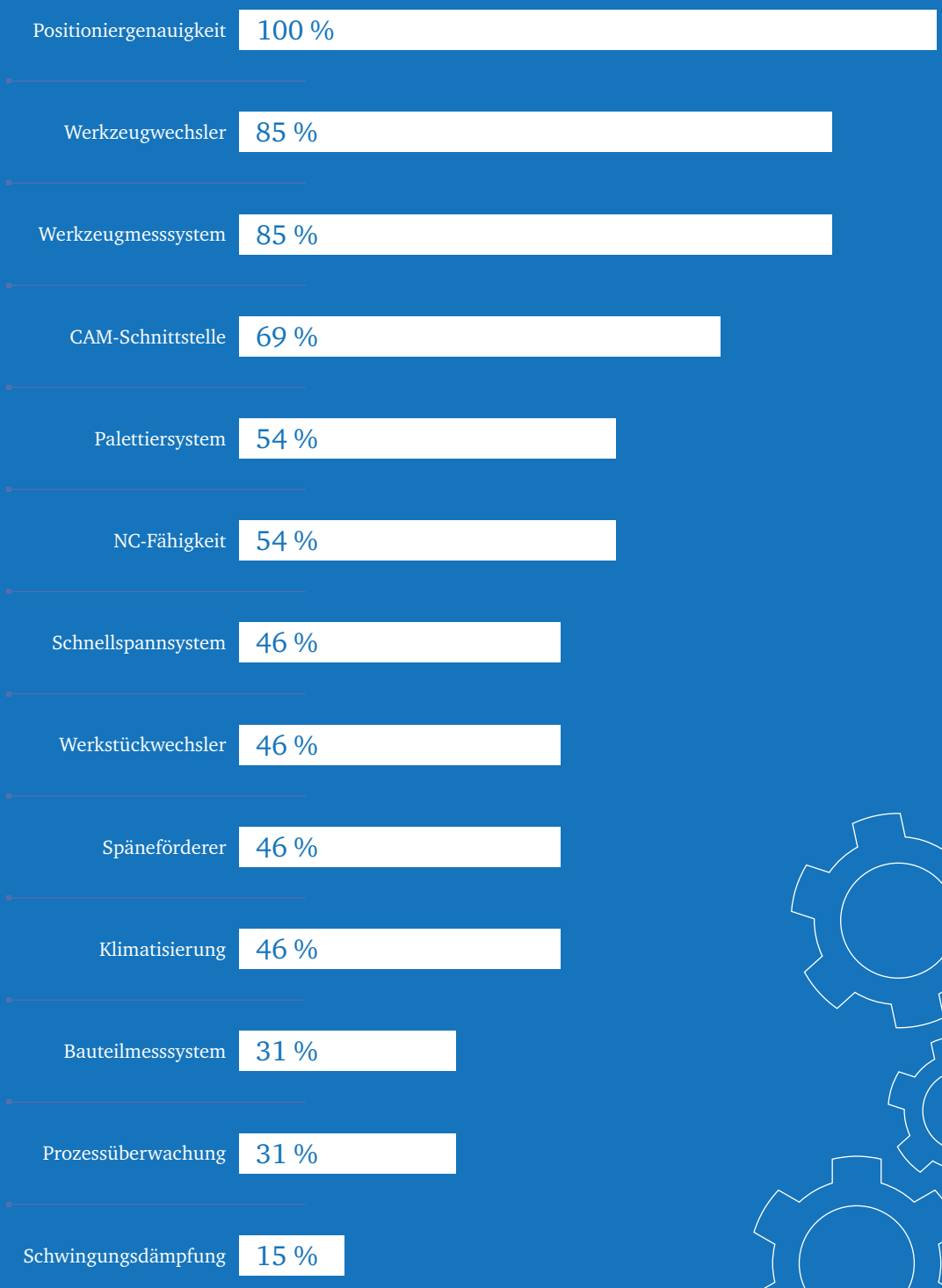


2,4 Jahre

jünger sind die Maschinen bei den besten Werkzeugbaubetrieben verglichen mit dem Durchschnitt

Fräsen

Welche der folgenden Charakteristika sind Ihrer Meinung nach die relevantesten zur Auswahl neuer Fräsmaschinen? [Mehrfachnennung möglich]



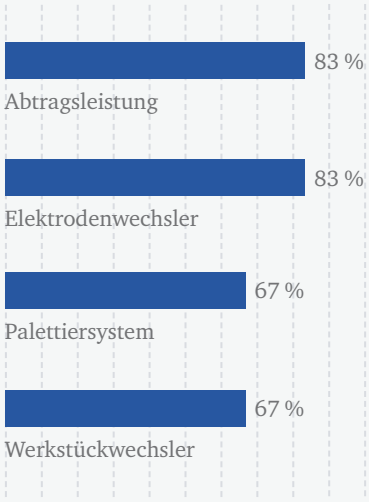
Im Gegensatz zur Frästechnologie ist die Verfahrenskinematik in der Funkenerosion lediglich sekundär. Dies ist durch die technologiebedingten deutlich geringeren Achsgeschwindigkeiten und -beschleunigungen zu erklären. Das funkenerosive Senken unterliegt wie das Fräsen den Zielgrößen Qualität und Produktivität. In diesem Zusammenhang bezieht sich die Qualität auf die erzeugbaren Oberflächengüten und ist gleichzeitig die primäre Größe zur Auswahl von Maschinen des funkenerosiven Senkens. Das Ergebnis der Umfrage verdeutlicht, dass weiterhin die Charakteristika zur Realisierung einer hohen Produktivität der Senkerosionsmaschinen von den Unternehmen hervorgehoben wurden. Als entscheidende Einflussgröße wurde daher die Abtragsleistung (83 %) genannt, die unter Berücksichtigung der geforderten Oberflächengüte die bestimmende Größe für die Produktivität ist. Das Palettiersystem (67 %), der Elektroden- (83 %) und der Werkstückwechsler (67 %) werden zudem als besonders relevant eingestuft. Diese Charakteristika werden zusätzlich als Voraussetzung für eine stabile Prozessautomatisierung bewertet.

Aufgrund der technologischen Analogie innerhalb der funkenerosiven Fertigungsverfahren, ähneln die Charakteristika zur Auswahl der Drahterosionsmaschinen denen der Senkerosionsmaschinen. Beim funkenerosiven Schneiden wird folglich die Schnittleistung mit 91 % von nahezu allen Unternehmen als relevantes Charakteristikum angegeben. Alle befragten Unternehmen sehen ein automatisches Drahteinfädelungssystem als relevant an, da sich hierdurch Rüstzeiten signifikant reduzieren lassen. Zudem wird ein angepasster Konizitätswinkel von über 60 % als signifikant angegeben, da dieser mit einer höheren geometrischen Flexibilität einhergeht. Analog zu Fräs- und Senkerosionsmaschinen, ist auch bei Drahterosionsmaschinen die CAM-Schnittstelle (55 %) relevant für die Maschinenauswahl.

Der Prozess des Schleifens wird primär zur Erzeugung geforderter Oberflächengüten und Toleranzen der Werkstücke eingesetzt. Daher steht die Qualität bei dieser Fertigungstechnologie stark im Vordergrund. Mit über 80 % wurde eine Abrichteinrichtung als das relevanteste Ausstattungskriterium identifiziert, da diese maßgeblich zur Bearbeitungsqualität beiträgt. In der Praxis des Werkzeugbaus wird in der Regel ein geringerer Wert auf eine hohe Produktivität beim Schleifen gelegt, da aufgrund des geringen Fertigungsanteils lediglich ein geringer Produktivitätsgewinn für die gesamte Fertigung durch produktivitätssteigernde Maschinenausstattungen erzielt werden kann. Ein Mindestmaß an Produktivität wird durch den Bearbeitungsvorschub gewährleistet, was von über 40 % der Unternehmen angegeben wurde. In analoger Weise ist auch beim Schleifen die NC-Fähigkeit ein relevantes Kriterium, welches 33 % der befragten Unternehmen angaben.

Drehmaschinen werden vorwiegend zur Bearbeitung rotationssymmetrischer Werkstücke eingesetzt, was üblicherweise eine geringe Technologierelevanz und einen niedrigen Fertigungsanteil zur Folge hat. Aus diesem Grund steht die Technologie in der Regel nicht im Fokus von Optimierungsmaßnahmen. Jedoch zeigt sich bei vielen Unternehmen der Trend, dass die Drehmaschinen möglichst automatisch fertigen, um den Stundensatz durch Mehrmaschinenbedienung zu reduzieren. Dieser Trend zeigt sich deutlich darin, dass ein Werkzeugwechsler (100 %), die NC-Fähigkeit (80 %) und eine CAM-Schnittstelle (40 %) von den Unternehmen als relevante Maschinencharakteristika im Drehen gesehen werden.

Was sind die relevantesten Charakteristika zur Auswahl neuer Senkerosionsmaschinen?



Mit > 80 %

wurde eine Abrichteinrichtung als das relevanteste Ausstattungskriterium von Schleifmaschinen identifiziert

100 %

der Unternehmen betrachten einen Werkzeugwechsler als das relevanteste Maschinencharakteristikum im Drehen

Fertigungstechnologischer Ausblick

Der Technologieeinsatz im Werkzeugbau wird durch Innovationen und Weiterentwicklungen in den klassischen Fertigungstechnologien kontinuierlich verändert.

Werkzeugbauunternehmen sind darauf angewiesen, ihren Maschinenpark stetig an den spezifischen Anforderungen aus den verschiedenen Industriesektoren auszurichten, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben. Daher sind vorausschauende Überlegungen und quantitative Analysen bei Investitionen in neue Technologien und Maschinen von essentieller Bedeutung.

In der Kerntechnologie der führenden deutschen Werkzeugbaubetriebe – der Frästechnologie – hat sich in den vergangenen Jahren eine zunehmende Ausrichtung zur 5-achsigen Simultanbearbeitung eingestellt. Die hohe Flexibilität der 5-achsigen Bearbeitung führt weiterhin dazu, dass die Anzahl von (zumeist manuellen) Umspannvorgängen reduziert werden kann. Weniger Umspannvorgänge führen zu kürzeren Rüst- und Nebenzeiten und somit zu einer höheren Maschinenauslastung, die in Verbindung mit einem geringeren Personalbedarf Kostensenkungspotenziale generiert. Ein zusätzlicher, signifikanter Vorteil der 5-achsigen Bearbeitung lässt sich in Bezug auf die Fräsparameter realisieren. Durch die 5-achsige Bearbeitung ist es möglich über den gesamten Bearbeitungszeitraum nahezu konstante Prozessparameter einzustellen, so dass beispielsweise der Anstellwinkel gegenüber der Werkzeugoberfläche beibehalten werden kann. Schnittgeschwindigkeit sowie Vorschub können dabei auf einem gleichbleibenden Niveau betrieben werden. Die bei 3-achsiger Bearbeitung anfallenden Anpassungen der Fräsparameter entfallen. Vor dem Hintergrund steigender Produktkomplexität und der Verkürzung von Durchlaufzeiten wird das simultane 5-Achs-Fräsen auch zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen.

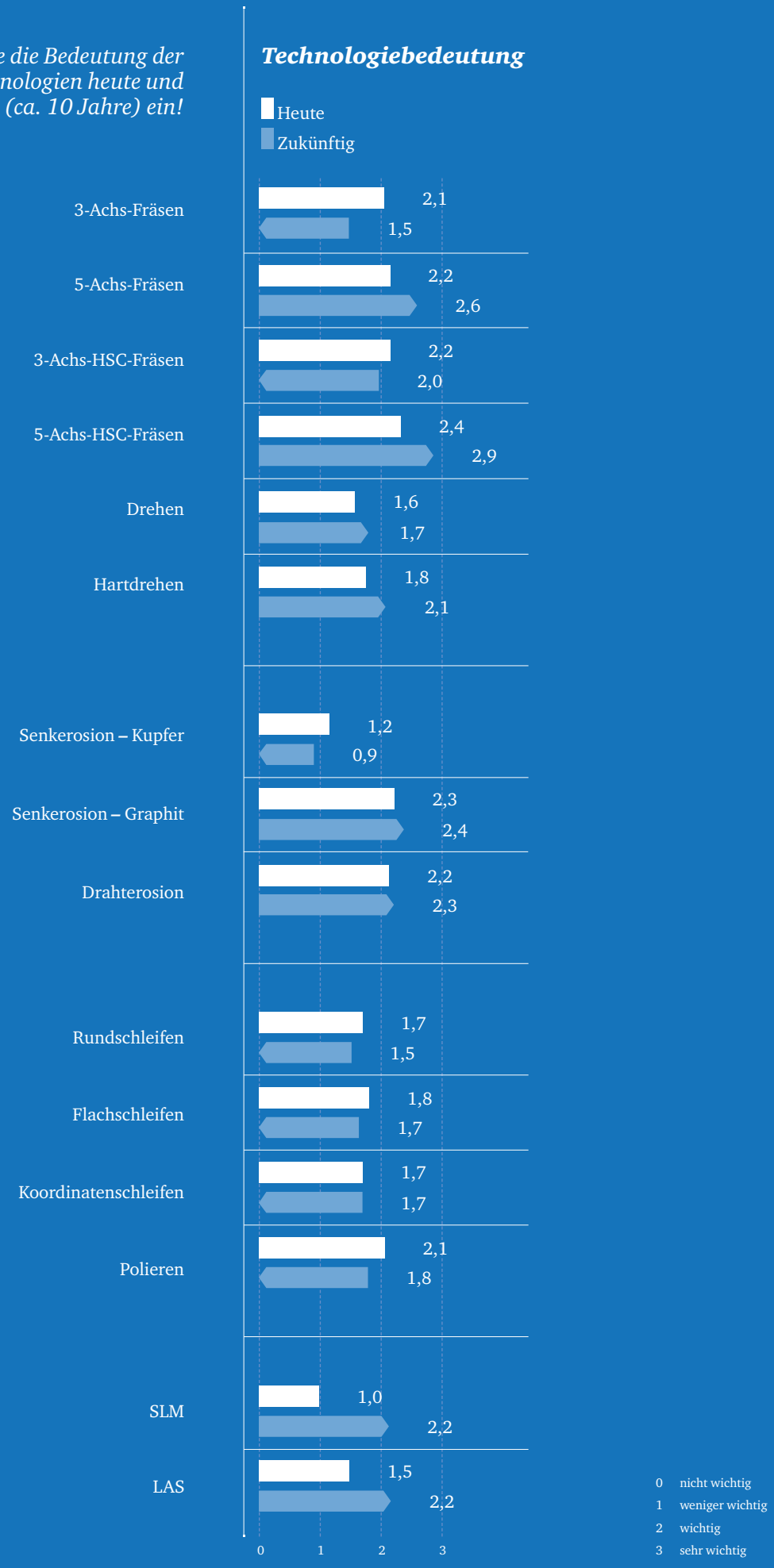
Trotz der anspruchsvolleren Herstellung von Graphitelektroden, sehen die befragten Unternehmen die Bedeutung von Graphit als Elektrodenwerkstoff als weiter steigend und sehr hoch im Vergleich zu Kupfer. Der zusätzlich notwendigen Maschinentechnik zur Graphitbearbeitung stehen deutlich höhere Leistungsfähigkeiten im Erosionsprozess gegenüber, was den Initialaufwand auch zukünftig rechtfertigt.

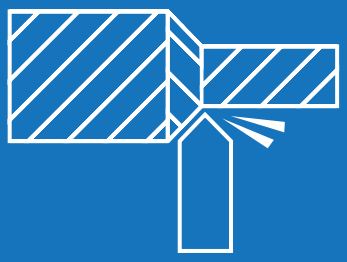
Die bereits dargestellten Prozessverbesserungen im Fräsen und Erodieren hinsichtlich Genauigkeit und Oberflächengüte spiegeln sich in der Abnahme der Bedeutung der Schleiftechnologie wider, da viele Fertigungsoperationen substituiert werden können. Lediglich das Koordinatenschleifen wird aufgrund der geometrischen Flexibilität nicht an Bedeutung im Werkzeugbau verlieren.

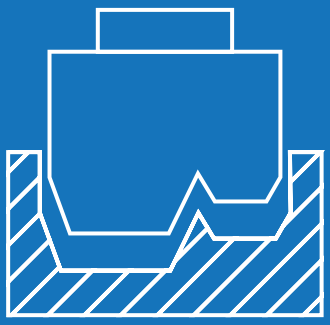
Im Bereich der additiven Fertigungsverfahren ist davon auszugehen, dass diese zukünftig an Bedeutung gewinnen werden. Dies ist insbesondere auf die vielfältigen Fertigungsmöglichkeiten zurückzuführen, die durch den Einsatz von additiven Fertigungsverfahren entstehen. Anspruchsvolle Kundenanfragen mit komplexen Geometrien können stetig besser realisiert werden, sowohl im Prototypenbau, als auch bei Funktionsbauteilen im Werkzeug selbst. Dies ist speziell im Formenbau, aber auch in anderen Bereichen des Werkzeugbaus von großem Vorteil.

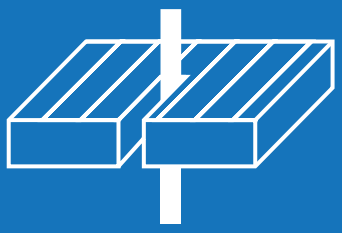
Die Kunden des Werkzeugbaus sind zunehmend darauf angewiesen, dass Ideen frühzeitig auf ihre Realisierbarkeit überprüft werden können. Dies kann zu erheblichen Ressourceneinsparungen führen, wodurch Vorteile gegenüber Wettbewerbern generiert werden können. Durch additive Fertigungsverfahren wird es Werkzeugbaubetrieben in Zukunft möglich sein, direkt in Kundenprozesse integriert zu werden. Durch die Erzeugung von Prototypenbauteilen kann die Realisierbarkeit von Projekten bereits sehr früh im Entscheidungsprozess nachgewiesen und somit Ressourcenaufwand eingespart werden.

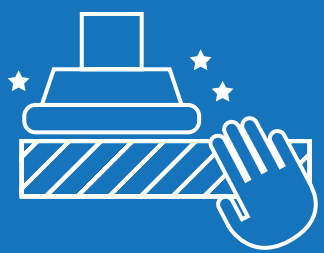
Schätzen Sie die Bedeutung der folgenden Technologien heute und zukünftig (ca. 10 Jahre) ein!











Zusammenfassung und Fazit

Der deutsche Werkzeugbau sieht sich aufgrund von internationalen Wettbewerbern und den marktgetriebenen Trends Derivatisierung und kürzeren Produktlebenszyklen mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Die Globalisierung bedingt eine stetige Zunahme der Konkurrenz durch osteuropäische und asiatische Werkzeugbauunternehmen, mit deren Preisniveau deutsche Werkzeugbauunternehmen aufgrund der unterschiedlichen Lohnkosten nicht mithalten können. Die Industrialisierung des Werkzeugbaus rationalisiert die kundenindividuelle und variantenreiche Produktion der Einzel- und Kleinstserienfertigung und schafft den Rahmen für eine grundlegende Veränderung der Wertschöpfungsprozesse in deutschen Werkzeugbauunternehmen. Durch die Standardisierung von Werkzeugkomponenten und eine daran anschließende Prozessstandardisierung wurden beachtliche Potenziale von verbesserten Durchlaufzeiten und geringeren Kosten realisiert. Zusätzlich verändern technologische Innovationen und Technologietrends kontinuierlich die Produktspektren des Kunden- und Lieferantennetzwerks von Werkzeugbaubetrieben.

Deshalb wurden im Rahmen der Studie „Erfolgreich Fertigungstechnologien Einsetzen im Werkzeugbau“ unter führenden deutschen Werkzeugbauunternehmen der Einsatz und die Organisation der Fertigungstechnologien und der impliziten Ressourcen analysiert. Dabei wurden zunächst die Anforderungen aus dem Werkstückspektrum sowie die Leistungsfähigkeiten der Fertigungstechnologien systematisch untersucht. Die Effektivität der technologischen Prozessketten sowie die Effizienz der einzelnen Fertigungsprozesse haben entscheidende Auswirkungen auf die Produktionsqualität sowie die Durchlaufzeiten und Termintreue entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Durch die Analyse der relevantesten Prozesscharakteristika in Bezug auf verschiedene Werkstückanforderungen, die durch die Fertigungstechnologien erfüllt werden müssen, lässt sich der anforderungsgerechte Einsatz der Fertigungstechnologien im Werkzeugbau ableiten. Auf dieser Basis konnten im Anschluss die relevantesten Charakteristika der Werkzeugmaschinen identifiziert werden, um zukünftig durch einen systematischen Investitionsentscheidungsprozess die optimal ausgestatteten Fertigungsmaschinen in der Werkzeugfertigung einzusetzen.

Fazit

Im Zuge der beschriebenen Trends und technologischen Veränderungen hat sich das Portfolio aus Fertigungstechnologien und -maschinen im Werkzeugbau stetig weiterentwickelt. Während die konventionellen Fräs-, Dreh-, Schleif- und Erosionstechnologien weiterhin einen fundamentalen Bestandteil der Technologieketten bilden, sind diese gezielt durch innovative Technologien wie das SLM oder Laserauftragschweißen zu ergänzen, um neue technologische Potenziale zu nutzen. Deutsche Werkzeugbauunternehmen müssen sich diesen Veränderungen bewusst sein und entsprechende systematische Investitionen in neue Technologien und Maschinen tätigen, um nachhaltig die Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Marktumfeld zu wahren.

Autoren

Dr. Wolfgang Boos
Geschäftsführer
WBA Aachener Werkzeugbau Akademie

Dr. Kristian Arntz
Abteilungsleiter Nichtkonventionelle Fertigungsverfahren und Technologieintegration
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Lars Johannsen
Gruppenleiter Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Tim Dröscher
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Moritz Wollbrink
Geschäftsfeldleiter Werkzeugbau Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Marcel Prümmer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Unsere Studien

Erfolgreich Fertigungs-technologien Einsetzen
2017

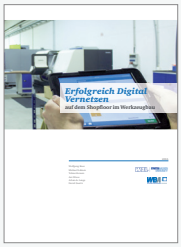
Erfolgreich Performance Messen
2017

Erfolgreich Finanzieren
2016

Smart Tooling
2016

Tooling in Turkey
2016

Tooling in China
2016



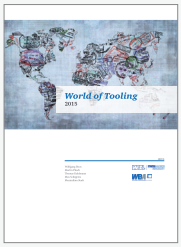
Erfolgreich Digital Vernetzen
2016

Tooling in Germany
2016

Erfolgreich Mitarbeiter Motivieren
2016

Fast Forward Tooling
2015

F³ Fast Forward Factory
2015



World of Tooling
2015

Erfolgreich Kalkulieren
2015

Erfolgreich Planen
2015

Getaktete Fertigung
2015

Tooling in China
2015

Tooling in South Africa
2014

Herausgeber

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH
Karl-Friedrich-Straße 60
D-52072 Aachen

www.werkzeugbau-akademie.de

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
Steinbachstraße 17
D-52074 Aachen

www.ipt.fraunhofer.de

978-3-946612-14-8