



Erfolgreich Digitale Fräsprozessketten Umsetzen

im Werkzeugbau

2019

Wolfgang Boos
Kristian Arntz
Florian Degen
Moritz Wollbrink
Vincent Gerretz
Tae Hun Lee
Mario Pothen
Tommy Venek
Felix Konstantin Maurer
Markus Landwehr
Oliver Henrichs
Steffen Lowis



WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH 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-Institut für Produktionstechnologie IPT

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 72 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Die Hauptaufgabe 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, und setzt seine Forschungsergebnisse in die Praxis um. Es bietet darüber hinaus 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 Digitale Fräsprozessketten Umsetzen im Werkzeugbau
Studie des Fraunhofer IPT

Copyright © 2019

Autoren: Prof. Wolfgang Boos, Dr. Kristian Arntz, Dr. Florian Degen,
Moritz Wollbrink, Vincent Gerretz, Tae Hun Lee, Mario Pothén,
Tommy Venek, Felix Konstantin Maurer, Markus Landwehr,
Oliver Henrichs, Steffen Lowis

Redaktion: Stefanie Erkeling
Gestaltung: Sharlyne Schütter

ISBN: 978-3-946612-36-0
Druck: printclub, 1. Edition

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

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH
Campus-Boulevard 30
D-52074 Aachen
www.werkzeugbau-akademie.de

Erfolgreich Digitale Fräsprozessketten Umsetzen

im Werkzeugbau

2019

Wolfgang Boos
Kristian Arntz
Florian Degen
Moritz Wollbrink
Vincent Gerretz
Tae Hun Lee
Mario Pothen
Tommy Venek
Felix Konstantin Maurer
Markus Landwehr
Oliver Henrichs
Steffen Lowis



Spotlight

Für moderne Werkzeugbaubetriebe ist es unerlässlich, ihre Durchlaufzeiten immer weiter zu verkürzen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden in der Vergangenheit bereits zahlreiche Anstrengungen unternommen, etwa die Verfeinerung von Planung und Steuerung in der Fertigung, die Anschaffung immer leistungsfähigerer Maschinenausstattung sowie die bessere Abstimmung von Prozessabläufen in der Werkzeugfertigung. Diese Maßnahmen allein reichen jedoch nicht aus.

Wie lassen sich Fertigungsprozessen und Durchlaufzeiten weiter optimieren? Was sind die richtigen Maßnahmen, um die Weichen in Richtung Zukunft zu stellen?

Die Digitalisierung, insbesondere digitale Prozesskettenelemente, bieten Antworten auf diese Fragen. Das Auslesen von Maschinendaten ist Basis für eine noch detailliertere, noch genauere Planung. Bauteildefinitionen im CAD-Modell machen es überflüssig, Zeichnungen zu erstellen und verkürzen die Zeit zwischen Bauteilentwicklung, Konstruktion, CAM-Programmierung und Fertigung.

Diese und weitere Elemente beschreibt die vorliegende Studie »Erfolgreich Digitale Fräsprozessketten Umsetzen im Werkzeugbau«.



75 %

gesteigerte Genauigkeit bei
5-Achs-Fräsmaschinen

PMI

»Product Manufacturing Information«

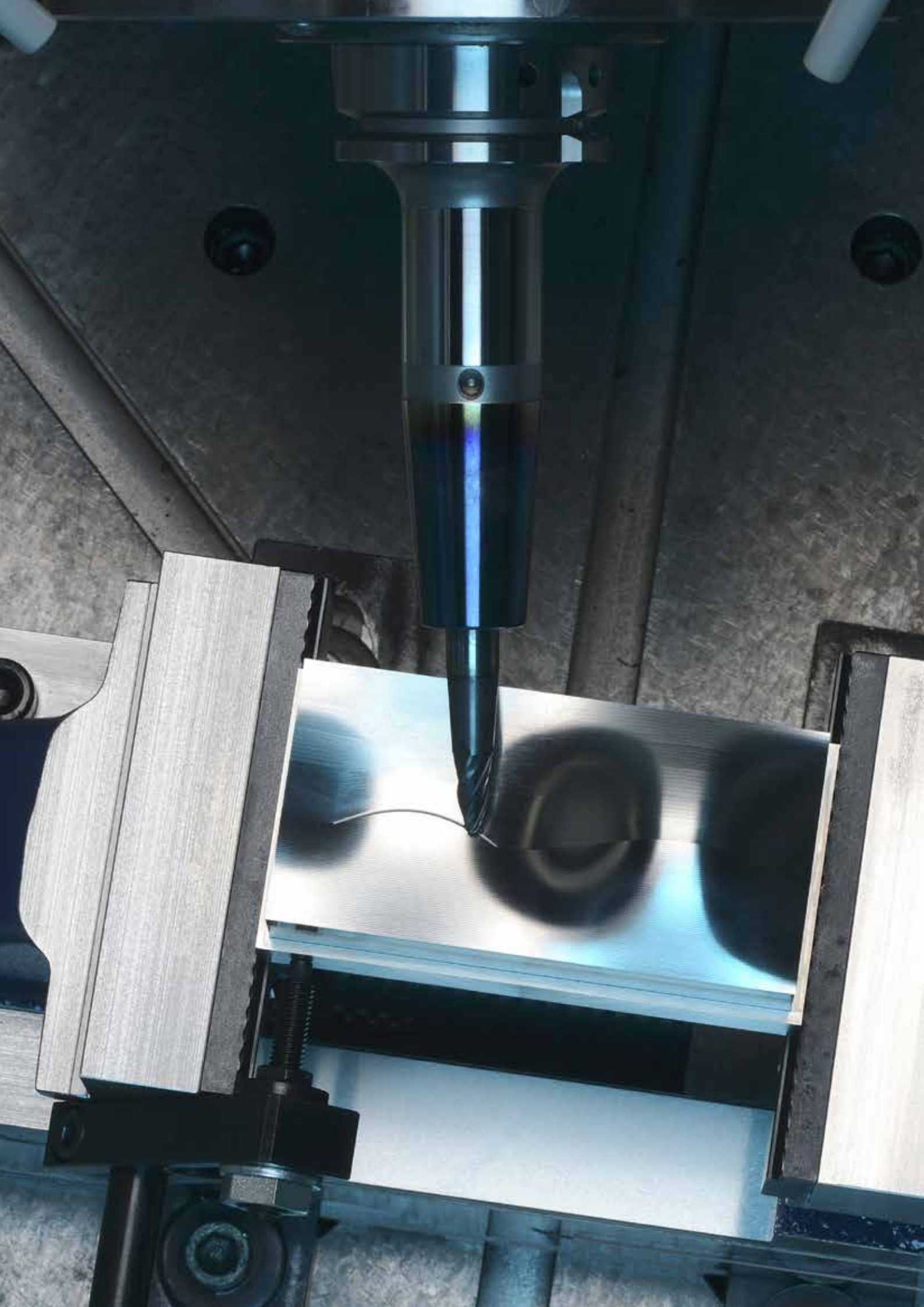
Bauteildefinitionen,
z. B. Toleranzen,
direkt am CAD-Modell

16

analoge und digitale Eingänge
hat die »vBox« zum Anschluss
unterschiedlicher Sensoren

42 - 58 %

ist der Anteil verschiedener
PLM-fähiger Software in
Werkzeugbaubetrieben



Executive Summary

Die digitale Fräsprozesskette im Werkzeugbau schafft weitere Potentiale zur Steigerung der Qualität und Verringerung der Durchlaufzeit.

Klassisch bewegt sich der Werkzeugbau in einem Umfeld unterschiedlichster Herausforderungen. Zunächst ist natürlich die technologische und betriebswirtschaftliche Positionierung im globalen Wettbewerb zu nennen. Eine weitere Herausforderung ist die Einbindung in Produktentwicklungsprozesse, um gezielt Werkzeugkonzepte anbieten zu können. Darüber hinaus stellt der demografische Wandel eine zunehmendes Problem für viele Werkzeugbaubetriebe dar: In diesem Kontext ist zum einen die Motivation junger Menschen für handwerklich-technische Berufe zu nennen, zum anderen die Gestaltung von Arbeitsplätzen mit modernen und abwechslungsreichen Aufgaben. Diesen und vielen weiteren Herausforderungen kann und sollte auf mehreren Ebenen begegnet werden.

Diese Studie zur digitalen Fräsprozesskette im Werkzeugbau zeigt einige Möglichkeiten auf. Sie beschreibt Elemente, die eine moderne Fertigungsprozesskette im Werkzeugbau enthalten kann, um produktiver, effizienter oder transparenter zu werden. Als Beispiel seien an dieser Stelle Metainformationen in CAD-Modellen genannt, auch »Model Based Definition« oder »Product Manufacturing Information« (kurz: »PMI«) genannt. Dabei werden beispielsweise Toleranz- oder Oberflächeneigenschaften direkt im 3D-CAD-Modell eines Bauteils hinterlegt und können in der CAD-, CAM- oder Viewer-Software angezeigt werden. 2D-Zeichnungen – ob physisch

oder digital – sind nicht mehr erforderlich. Somit reduziert sich auch der Aufwand für Zeichnungsableitungen, Drucken und manuelle Aktualisierungen. Außerdem sinkt die Anzahl der inhaltlichen Nachfragen zu den Zeichnungen.

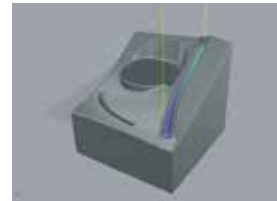
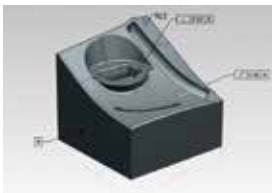
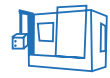
Das Beispiel »PMI« zeigt, wie neue Konzepte im Design positive Auswirkungen auf die gesamte Prozesskette im Werkzeugbau haben können. Darüber hinaus gibt es Tools, die einzelne Fertigungsprozesse optimieren, automatisieren oder eben digitalisieren. Auf grundlegenden technologischen Erkenntnissen baut etwa eine am Fraunhofer IPT entwickelte Software-Tool auf: Mit dieser ist eine detaillierte Zerspansimulation von 5-Achs-Fräsprozessen möglich. Verschleißoptimierung von Fräswerkzeugen ist hier eines von mehreren Potenzialen, die Zeit und Kosten sparen.

Das, was im Kern als Digitalisierung beschrieben werden kann, liefert ein System wie die »vBox«. Diese ermöglicht völlige Maschinenunabhängig durch das Sammeln und Weiterleiten unterschiedlicher Sensor- und Steuerungsinformationen. Sie ist somit die technische Basis für digitale Prozesse in der mechanischen Werkzeugfertigung.

Entdecken Sie auf den nächsten Seiten diese und weitere Möglichkeiten, die digitale Fräsprozesskette im Werkzeugbau zu gestalten.

Die digitale Fräsprozesskette im Werkzeugbau

CAD, CAM und CNC sind Standard im Werkzeugbau – Welche Schritte sind nun in Richtung digitaler Prozessketten zu gehen?



CNC

Simulation

CAD

CAM

CAP

Konstruktion

PMI – Product and Manufacturing Information ... S. 11

Arbeitsvorbereitung

Analysesoftware und »NC-Profilierer«
Prüfung und Optimierung des
NC-Codes ... S. 13; 15

Fertigung

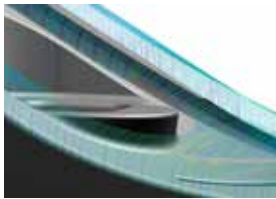
»dPart« – Toolbox zur Prozess-
digitalisierung ... S. 21; 23

Die klassische technologische Prozesskette umfasst im Werkzeugbau im Allgemeinen fünf übergeordnete Schritte: Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung, Montage und Qualitätssicherung. Entlang dieser Prozessschritte unterstützten verschiedene Softwaresysteme die Werkzeugherstellung.

Der Begriff »CAX« fasst diese Softwaresysteme zusammen – angefangen von CAD (Computer-Aided-Design) zur Bauteilauslegung und -konstruktion über CAM (Computer-Aided-Manufacturing) bis hin zu CAQ (Computer-Aided-Quality). Diese Softwarepakete werden als eigenständige Lösungen

oder als integrierte Systeme im Sinne eines Product-Life-cycle-Managements (PLM) angeboten und im Werkzeugbau eingesetzt.

Eine Umfrage unter Werkzeugbaubetrieben für die Studie »Erfolgreich CAX-Prozessketten Gestalten im Werkzeugbau« der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie aus dem Jahr 2018 ergab: PLM-Systeme dominieren, oft durch die Einbindung in Unternehmens- oder Konzernstrukturen (»interner Werkzeugbau«, Umsatzanteil mit internen Kunden > 50%), den Einsatz im Werkzeugbau. So arbeiten



CAD



CAM



CAQ



Montage

»CheckPoint5« und »vBox«
Schnelles Kalibrieren von Maschinen und
Ermitteln von Fertigungsdaten ... S. 17; 19

viele Werkzeugbaubetriebe mit den PLM-fähigen Systemen Siemens NX (58 %), Dassault Systèmes Catia (50 %) und/oder PTC Creo (42 %) (Mehrfachnennungen waren möglich).

Die digitale Prozesskette setzt die Verwendung der beschriebenen Softwaresysteme und den Einsatz moderner CNC-Maschinen voraus. Derzeit sind bei rund 63 % der Betriebe in der Werkzeugbaubranche parametrische Konstruktionen verbreitet; 88,9 % der Fräsmaschinen sind mit

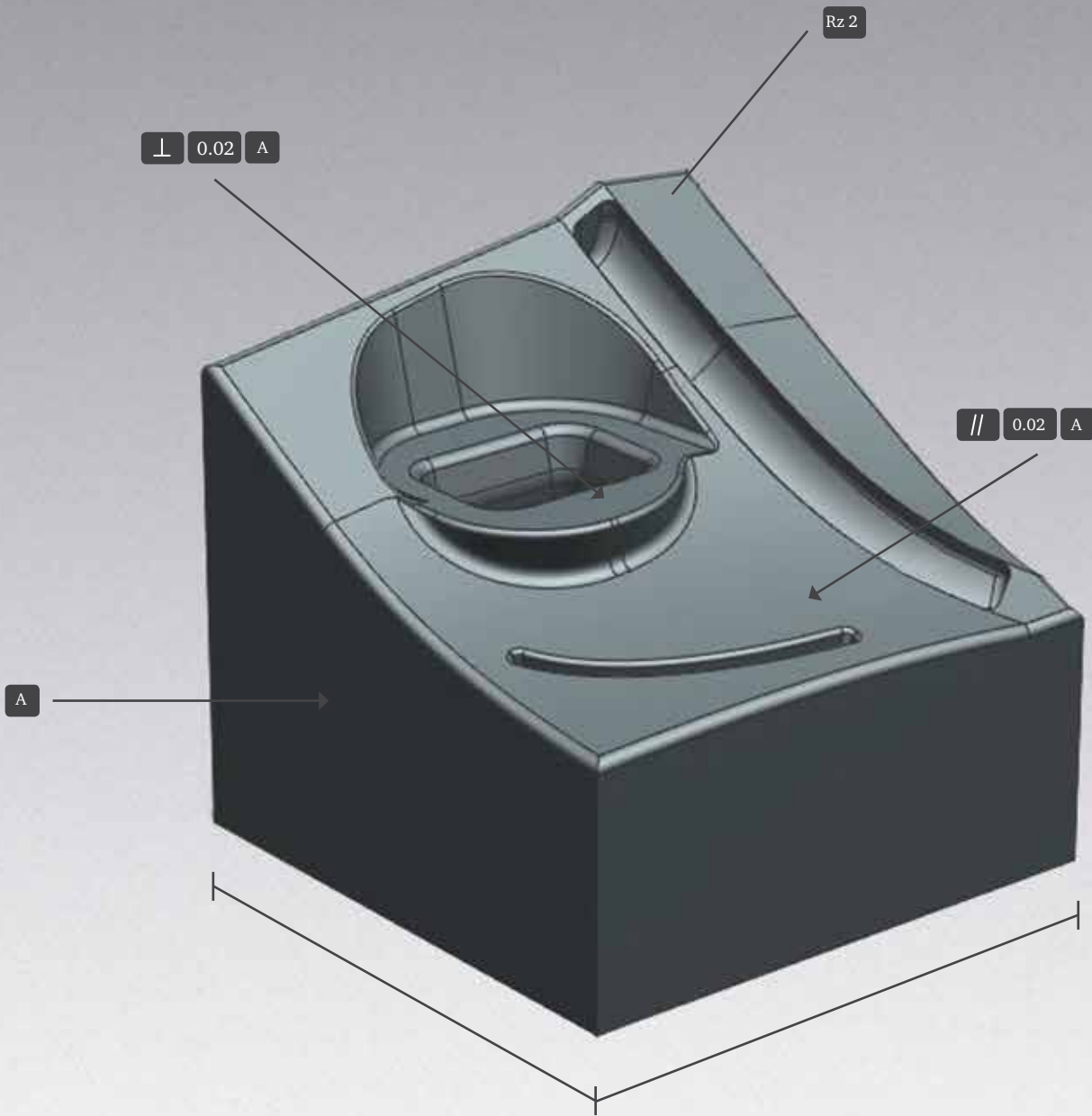


Qualitätssicherung

Adaptive Prozesskette – Prozessketten auf
Basis von Bauteilanforderungen ... S. 25

einer CAM-Schnittstelle ausgestattet. Ergänzend bietet die digitale Prozesskette mit unterschiedlichen Erweiterungen große Potenziale zur Produktivitätssteigerung in den zuvor genannten übergeordneten Prozessschritten. Die obenstehende Grafik zeigt einige dieser Erweiterungen, die im weiteren Verlauf der Studie detailliert beschrieben werden.





Model Based Definition

CAD-Systeme werden kontinuierlich weiterentwickelt. Product and Manufacturing Informations« (PMI) machen herkömmliche 2D-Zeichnung überflüssig.

Die modellbasierte Bauteildefinition stützt sich auf Produkt- und Fertigungsinformationen, die im CAD-Modell integriert sind. Dabei können alle für die Bauteildefinition sowie die anschließende Fertigung erforderlichen Informationen im Dreidimensionalen spezifiziert werden. Die Basis für die Modelle bieten die sogenannten »Product and Manufacturing Informations« (PMI), die unter anderem Abmessungen, Toleranzen, Annotationen, Oberflächenbeschaffenheit und Materialspezifikationen umfassen können. Großer Vorteil: Herkömmliche 2D-Zeichnungen werden nicht mehr benötigt. Die PMI werden im CAD-Modell visualisiert, und ihnen werden Kanten und Flächen zugeordnet.

Im CAD-Modell können verschiedene Ansichten angelegt werden, um eine benutzerdefinierte Übersichtlichkeit zu ermöglichen. Somit stellt das mit PMI-spezifizierte CAD-Modell eine »Single source of truth« dar, wodurch mögliche Abweichungen zwischen der heutigen 2D-Zeichnung und dem CAD-Modell entfallen. Änderungen im CAD-Modell werden direkt auf die PMI übertragen. Darüber hinaus ist das CAD-Modell einfacher zu handhaben als eine komplexe 2D-Zeichnung, was die Arbeit entlang der kompletten Fräsprozesskette vereinfacht.

Durch die geringen Stückzahlen im Werkzeug- und Formenbau sind manuelle CAM-Programmieraufwände üblicherweise verhältnismäßig hoch, insbesondere wenn man die Programmierzeit im Vergleich zur eigentlichen Bearbeitungszeit betrachtet. Die Automatisierung der NC-Programmierung bietet die Möglichkeit, diese Programmieraufwände deutlich zu reduzieren: Bauteilmerkmale werden vom CAD-Programm erkannt und es wird eine automatisierte CAM-Bahnplanung durchgeführt. Um die verschiedenen Bauteilmerkmale automatisiert zu erkennen, ist jedoch eine vorherige Definition der PMI am Bauteil notwendig, etwa der Maße und Toleranzen.

Eine automatisierte CAM-Programmierung ist demnach vor allem bei wiederkehrenden Bauteilmerkmalen und Standardelementen, beispielsweise Bohrungen und Taschen, sinnvoll. Bei regelmäßig wiederkehrenden Bauteilmerkmalen können die Daten als Vorlage in der CAM-Software hinterlegt werden. Bearbeitungsabfolgen werden definiert, die direkt auf das jeweilige Merkmal angewendet werden können. Ein hoher Standardisierungsgrad bei Bauteilmerkmalen, beispielsweise die Verwendung von definierten Bohrungsdurchmessern, vereinfacht die automatisierte Programmierung. Es ist denkbar, dass die in der Konstruktion standardisierten Bauteilmerkmale ebenfalls als Vorlage angelegt werden. Die Definition eines Standard-Werkzeugspektrums ist dann sinnvoll.

Bei der automatisierten Programmierung von komplexen dreidimensionalen Oberflächen ergeben sich oftmals noch keine zufriedenstellenden Programmierergebnisse. In diesen Fällen bringen PMI derzeit noch keinen Mehrwert. Jedoch ist davon auszugehen, dass es zu solchen Anwendungen weitere Entwicklungen geben wird. Neben der automatisierten CAM-Bahnplanung für die Fräsbearbeitung können die definierten PMI auch als Grundlage für die Bahnplanung einer Messmaschine genutzt werden. Analog zur Fräsbearbeitung können für wiederkehrende Bauteilmerkmale ebenfalls Messvorlagen erstellt und auf das jeweilige Merkmal angewendet werden. Somit ist ebenfalls eine automatisierte Messmaschinenprogrammierung auf Basis der PMI möglich.

Zudem gibt es bereits die Möglichkeit, die definierten PMI automatisiert in das vorhandene CAQ-System zu überführen. Dadurch können die gemessenen Ist-Werte wieder in das CAD-Modell zurückgespielt und mit den Soll-Werten verglichen werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, beispielsweise durch Farben, Abweichungen eines Bauteils direkt im 3D-Modell zu visualisieren. Auf diese Weise kann die manuelle Bauteilinspektion deutlich verkürzt werden.



Parameter	Value	Unit
Tip Speed Ratio	11.5	-
Pitch Angle	0	deg
Yaw Angle	0	deg
Generator Torque	12000	Nm
Generator Speed	1500	rpm
Generator Power	18000	W
Generator Efficiency	0.95	-
Generator Current	120	A
Generator Voltage	1800	V
Generator Frequency	50	Hz
Generator Power Factor	0.95	-
Generator Torque	12000	Nm
Generator Speed	1500	rpm
Generator Power	18000	W
Generator Efficiency	0.95	-
Generator Current	120	A
Generator Voltage	1800	V
Generator Frequency	50	Hz
Generator Power Factor	0.95	-



Simulation komplexer Fräsprozesse

Mehr als Werkzeugpfade: Simulation von Werkzeugverschleiß und -abdrängung erhöht die Bauteilqualität schon in CAM.

Komplexe Bauteile werden immer häufiger für jeden Kunden individuell gefertigt. Das Ziel ist, dass die Bauteile bereits beim ersten Versuch fehlerfrei vorliegen (»First Part Right«). Die Prozessauslegung unterstützt in der Regel ein CAM-System (Computer-aided Manufacturing), mit dem die Bahn des Bearbeitungswerkzeugs bereits im Vorfeld exakt geplant werden kann.

Moderne CAM-Systeme berücksichtigen jedoch nur geometrische Aspekte wie die Kollisionskontrolle zwischen Werkzeug, Werkstück und Maschine. Technologische Einflüsse, die Abweichungen und Fehler verursachen können, werden jedoch nicht betrachtet. Maschinenbediener und CAM-Programmierer müssen möglichen Fehlerquellen anhand von eigenem Prozesswissen bei der Planung antizipieren.

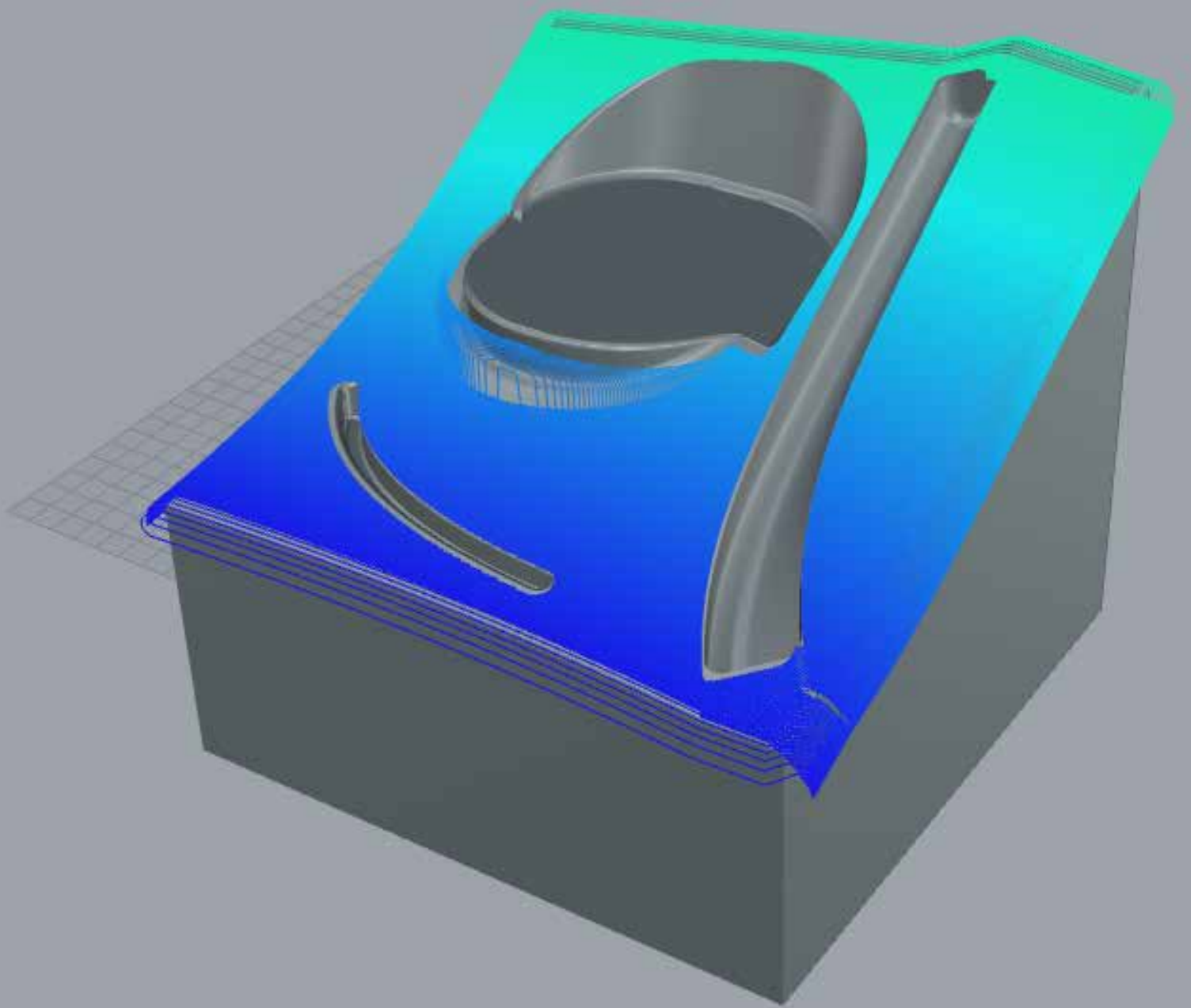
Das Fraunhofer IPT hat eine Analysesoftware entwickelt, die CAM/NC-Pfade für 5-Achs-Fräsprozesse komplexer Bauteile mit Blick auf ihre technologische Eignung überprüft. Für jeden Eingriff der Fräswerkzeugschneide wird entlang der gesamten NC-Bahn berechnet, wie stark sich Fräswerkzeug und Werkstück makro- und mikrogeometrisch durchdringen. Aus der Berechnung ergibt sich eine präzise Simulation der Spannungsgeometrie, anhand derer sich unter anderem Überlasten und voraussichtliche Werkzeugverschleisse berechnen lassen. Kritische Stellen und ungenutztes Potenzial können auf diese Weise bereits in der Prozessauslegung identifiziert werden.

Die Fräsprozesssimulation zieht als Eingangsgrößen die Geometrie des Werkstücks,

die Werkzeugbahn, die Geometrie des Werkzeugs und die Prozessparameter heran. Im ersten Schritt simuliert die Software die Geometrie des Werkstücks und den notwendigen Materialabtrag anhand eines sogenannten Multidexel-Modells und leitet daraus die makroskopischen Eingriffsbedingungen wie Eintritts- und Austrittswinkel ab. Auf dieser Basis kann dann die Spannungsgeometrie berechnet werden. Diese umfasst die Spannungsdicke, -breite, -länge und -fläche. Wenn die materialbezogenen Kraftkoeffizienten für das Altintas- oder Kienzle-Kraftmodell bekannt sind, werden aus den Spannungsgeometrien die Kräfte berechnet, die während des Prozesses auf Werkzeug und Werkstück einwirken. Die Software visualisiert alle errechneten Werte der Kenngrößen für den zeitlichen Verlauf in mehreren Diagrammen. Zu jedem einzelnen Eingriff lassen sich darüber hinaus die vollständigen Werte über den Eingriffswinkel sowie der Z-Achse des Werkzeugs darstellen.

Weiterentwicklungen der Software sollen künftig auch die Werkzeugabdrängung und den Werkzeugverschleiß simulieren, um damit noch weiter an Prognosefähigkeit zu gewinnen. Auch sollen FEM-Simulationen angebunden werden, um weitere physikalische Größen zu simulieren.

Zur Simulation konkreter Fräsprozesse hat das Fraunhofer IPT eine Web-Application entwickelt. Der Nutzer erfährt, an welchen Stellen das Werkzeug verstärkt beansprucht wird und welche Kräfte auf das Werkzeug einwirken. <https://app.simcutweb.de>



Maschinenbasierte NC-Datenanalyse

Die am Fraunhofer IPT entwickelte Software »NCProfiler« bietet die Analyse und Optimierung von Fräsprozessen.

Fehlerhafte NC-Programme für die Werkstückbearbeitung verursachen oft hohe Kosten, etwa durch Werkzeugausfall oder aufwendige Nachbearbeitungen. Die am Fraunhofer IPT entwickelte Software »NCProfiler« schließt die digitale Prozesskette und bietet eine maschinenspezifische Analyse und Optimierung auf Basis von NC-Daten für jeden Fertigungsprozess direkt an der Maschine. Bei der Analyse, die mit einem Computer oder einem Mobilgerät durchgeführt werden kann, werden neben der Maschinenkinematik auch die dynamischen Limitierungen der einzelnen Achsen sowie die Steuerungseigenschaften berücksichtigt. Typische Fehler wie treppenförmige NC-Bahnen oder Sprünge durch Flächenversätze werden zuverlässig erkannt, auf dem Werkzeugweg markiert und im NC-Programm angezeigt. Durch die an die Bearbeitungsmaschine adaptierte Analyse lassen sich Defekte des NC-Codes direkt nach dem Postprocessing und noch vor der eigentlichen Bearbeitung erkennen und beheben.

Der »NCProfiler« arbeitet direkt mit dem NC-Code und kann daher sowohl zur Kontrolle der Postprozessorausgabe als auch zur Analyse bestehender NC-Programme eingesetzt werden. Die Software unterstützt alle gängigen NC-Formate, beispielsweise Heidenhain iTNC, Sinumerik oder ISO-NC, aber auch Zwischenformate wie APT oder CLDATA. Für die einlesbaren Formate sind ebenfalls Codegeneratoren verfügbar, mit denen sich der »NCProfiler« als Postprozessor einsetzen lässt.

In der Analyse bildet der »NCProfiler« die Kinematik der Werkzeugmaschine ab, auf der die Bearbeitung stattfinden soll. So können die durch das NC-Programm vorgegebenen Bewegungen der einzelnen Achsen auf Überschreitungen dynamischer Grenzwerte, etwa Ruck und Beschleunigung, sowie auf Achsumkehrpunkte untersucht werden. Solche Positionen werden für den Nutzer farbig auf dem Werkzeugweg markiert und im NC-Programm kenntlich gemacht. Da-

rüber hinaus können die zeitlichen Verläufe der dynamischen Achswerte über Graphen dargestellt werden.

Neben der kinematischen Analyse berechnet der »NCProfiler« eine Bahnvorschubgeschwindigkeit, in der die Begrenzungen der einzelnen Achsen sowie die geometrischen Randbedingungen berücksichtigt werden. Dies ermöglicht eine Abschätzung der Bearbeitungsdauer sowie die Aufschlüsselung der Bearbeitungsdauer in Haupt- und Nebenzeiten.

Neben den simulierten Bewegungsdaten können auch reale Daten visualisiert werden: Die Bewegungen der einzelnen Achsen können während der Bearbeitung eines Werkstücks aufgenommen und im »NCProfiler« dargestellt und analysiert werden. So wird die digitale Prozesskette nach der Bearbeitung wieder geschlossen und der Bediener erhält umgehend Informationen über tatsächliche Positionen, Geschwindigkeiten und Rucke.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Bearbeitung von Freiformflächen ist die Erzeugung einer harmonischen Bahnführung. Im »NCProfiler« sind Funktionen zur automatisierten Glättung der Werkzeugbahn unter Einhaltung von Vorgabetoleranzen verfügbar. Dadurch lässt sich eine höhere Oberflächengüte bei der Werkstückbearbeitung erzielen.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Der »NCProfiler« reiht sich nahtlos in die digitale Prozesskette ein und ermöglicht so eine detaillierte Analyse und Optimierung der NC-Daten auf einem Arbeitsplatzrechner. Darüber hinaus bietet er eine schnelle Übersicht über den NC-Code auf einem mobilen Gerät. Kritische Bereiche des Werkzeugweges können identifiziert und durch programmeigene Optimierungsfunktionen verbessert werden. Das Resultat ist eine verkürzte Programm-anlaufzeit, weniger Ausschuss und eine höhere NC-Programmqualität.



Höchste Genauigkeit für die 5-Achs-Bearbeitung

»CheckPoint5« bietet eine Messmethode für eine anwenderfreundliche Maschinenkalibrierung.

Gefräste Bauteile für den Werkzeugbau erfordern eine hohe Genauigkeit, die nur erreicht wird, wenn die Fräsmaschine präzise arbeitet. Die erforderliche Präzision wird zum einen durch Investitionen in aktuelle Maschinenmodelle mit höherer Steifigkeit, performanten Steuerungen und smarten Kompensationsalgorithmen erreicht (diese Faktoren sind insbesondere bei 5-Achs-Fräsmaschinen wichtig). Zum anderen sorgt eine regelmäßige Wartung durch den Maschinenhersteller dafür, dass die Werkzeugmaschine konstant präzise fertigt.

Das Fraunhofer IPT hat mit »CheckPoint5« eine Methode zur Kalibrierung von 5-Achs-Bearbeitungszentren entwickelt, die der Maschinenbediener selbst durchführen kann. In Laborversuchen konnten Genauigkeitssteigerungen von durchschnittlich 75 % erreicht werden. Dabei sind die Investitionskosten niedrig: Schon mithilfe eines handelsüblichen Bauteil-Messtasters, der in nahezu jeder Fräsmaschine vorhanden ist, sowie einer Kalibrierkugel werden die Fehler der Maschinenkinematik gemessen.

Im Gegensatz zu den mitgelieferten Kinematik-Messzyklen der Maschinenhersteller, bezieht »CheckPoint5« den gesamten Arbeitsraum der Maschine in die Untersuchung ein und gleicht die Messergebnisse mit einem speziell zu diesem Zweck entwickelten 5-Achs-Fehlermodell ab. Die Fehler der Linearachsen und der Rotationsachsen können gleichzeitig berechnet und von der jeweiligen Steuerung kompensiert werden. Alles in allem dauert eine Kalibrierung mit der »CheckPoint5«-Methode weniger als zwei Stunden.

Zwei Anwendungsszenarien wurden bisher im Rahmen eines WBA-Projekts untersucht:

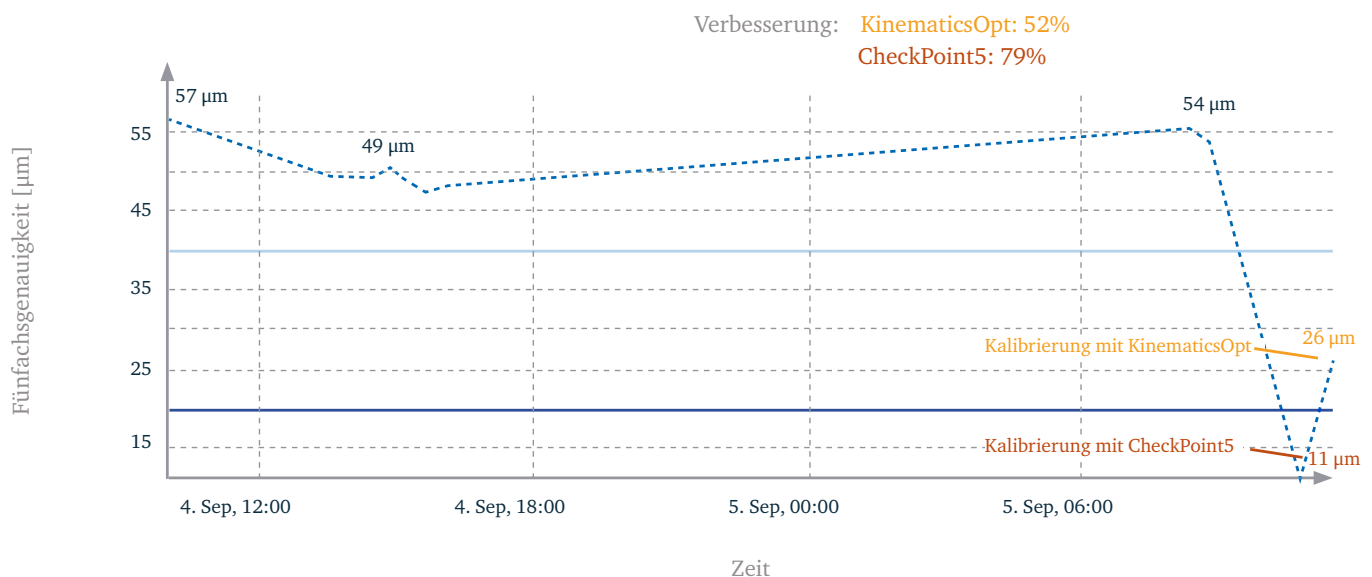
- Kurze Messungen zur Zustandsüberwachung (5 bis 10 Min.)
- Kalibrierung mit Genauigkeitssteigerung (90 bis 120 Min.)

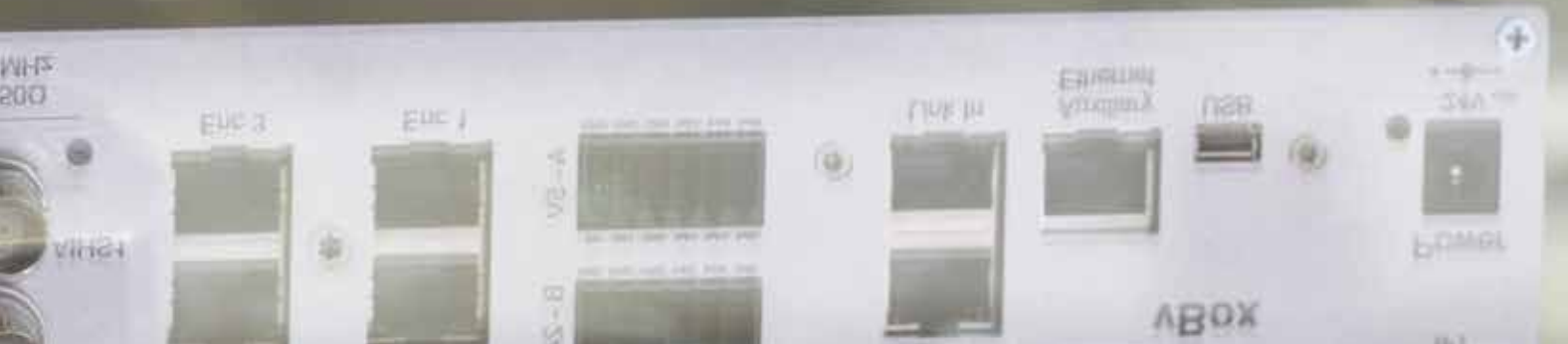
Wird die Methode für eine kurze Zustandsüberwachung genutzt, können erste Fehlerdiagnosen getroffen und Optimierungsmaßnahmen geplant werden. Hierfür können sogenannte Maschinen-Regelkarten, die alle bisherigen Messergebnisse zur Zustands-

überwachung einer Maschine übersichtlich abbilden, aufgesetzt werden. Die Regelkarten überwachen die Maschinengenauigkeit und bieten eine Übersicht über den Zustand einer bzw. mehrerer Maschinen. Auf dieser Basis lassen sich Wartungsintervalle optimieren und Abweichungen durch die Beobachtung von Trends frühzeitig erkennen.

Mit der »CheckPoint5«-Methode zur Maschinenkalibrierung lässt sich die Genauigkeit einer Maschine vor der Fertigung eines Bauteils steigern. Bevor der Prozess beginnt, kann die Werkzeugmaschine vom Bediener geprüft und optimiert werden. Allerdings beeinflussen neben den maschinen- und prozessbedingten Faktoren auch äußere Faktoren wie die Umgebungstemperatur am Aufstellort die Genauigkeit der Fertigung. Eine Kalibrierung ist also insbesondere dann sinnvoll, wenn die Schwankung der 5-Achs-Abweichung deutlich kleiner ist als ihr Mittelwert. Die Fraunhofer Methode erreicht eine deutlich höhere Genauigkeit gegenüber dem Stand der Technik (z.B. KinematicsOpt von Heidenhain-Steuerung).

Ergebnisse in Maschinenregelkarte





Intelligente Vernetzung

Die »vBox« bietet neue Anschlüsse für die Vernetzung von Maschinen

Viele herkömmliche Maschinen stoßen an ihre Grenzen, sobald sie in intelligente Fertigungsnetzwerke integriert werden. Die Anforderungen an Sensorintegration, Steuerungstechnik und Vernetzung von Maschinen verändern sich durch die Entwicklungen zur Industrie 4.0 jedoch massiv. Damit Unternehmen ihre Maschinen und Anlagen, die noch einwandfrei funktionieren, nicht vor Ende ihrer Lebensdauer austauschen müssen, hat das Fraunhofer IPT die »vBox« entwickelt. Die »vBox« vernetzt Maschinen im Sinne von Industrie 4.0 miteinander, leitet Prozessdaten an übergeordnete Leitsysteme weiter und nimmt Daten von diesen entgegen.

Die Vorteile:

- Die Maschinenlebensdauer wird erhöht.
- Der Wartungsaufwand wird reduziert.
- Die Produktionskosten werden gesenkt.
- Der Ausschuss wird minimiert
- Die Planungssicherheit ist gesichert.
- Kosten werden eingespart – sowohl in der Serienproduktion als auch bei der Fertigung von Einzelstücken.
- Einsätze von Bedienern und Servicemitarbeitern lassen sich individuell planen und optimieren.

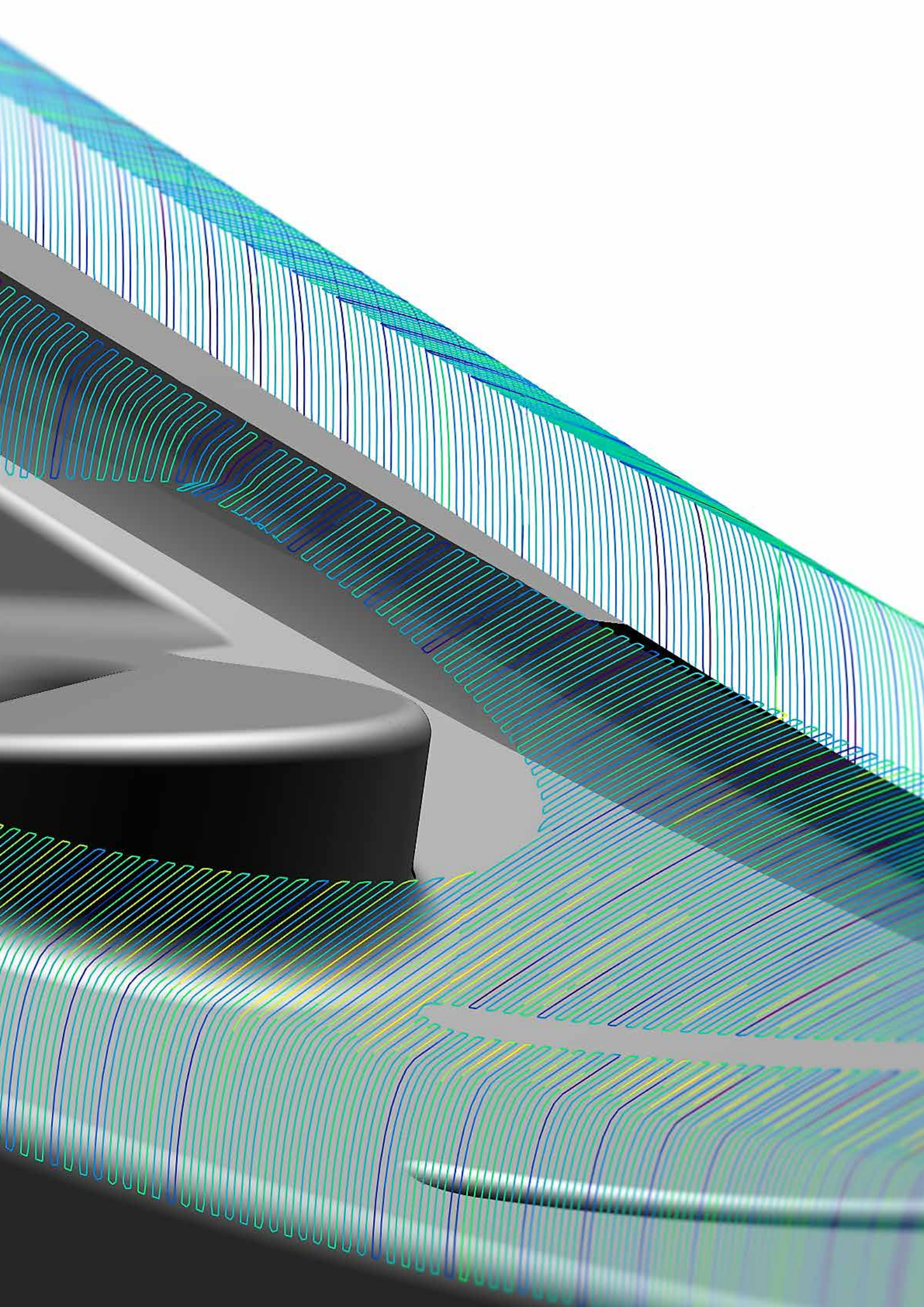
Die »vBox« wird eingesetzt, um Maschinenfehler zu erkennen bevor sie auftreten und ungeplante Ausfallzeiten zu reduzieren. Das kompakte System kann Positionsdaten ebenso wie digitale In- und Outputs mit Sensordaten synchronisieren und dem Anwender nach Bedarf visuell darstellen – unabhängig von der verwendeten Steuerungstechnik. Maschinendaten und Informationen zu

Kraft, Körperschall oder Beschleunigung werden in höchster Qualität und in Echtzeit übermittelt, um in kritischen Prozessphasen Fehlfunktionen aufzudecken und Abläufe unverzüglich zu optimieren. Durch standardisierte, anwendungsspezifisch programmierbare Schnittstellen ist das System auch mit modernen Maschinensteuerungen kompatibel. Über ein echtzeitfähiges Bussystem lässt sich die Funktionalität der »vBox« in bestehende Steuerungs- und Überwachungssysteme, beispielsweise SCADA-, MES- und ERP-Systeme, integrieren.

Das Alleinstellungsmerkmal der »vBox« sind die zwei High-Speed-Analog-Eingänge (AIHS). Die beiden niederohmigen Eingänge können Daten bis zu 5 Megahertz einlesen. Die Daten werden mittels eines parametrierbaren Filter reduziert und mit dem Hardwaremodul FFT (Fast Fourier Transform) transformiert. Diese Daten können dann mit weiteren Daten (Maschinenpositionen, Kraft, Temperatur etc.) aggregiert, synchronisiert und an ein übergeordnetes System übertragen werden. Dort können diese Daten zur analysiert und visualisiert werden. Das geschieht beispielsweise durch eine 3D-Messdatenvisualisierung, also einer Darstellung von Messdaten zur Maschinenpositionen. Diese können zum Plotten eines »digitalen Schattens« des Bauteils in Echtzeit genutzt werden. Darüber hinaus ist es möglich Echtzeitprogramme auf der »vBox« zu installieren. Diese sind frei programmierbar und bieten die Möglichkeit, Daten in Echtzeit direkt auf der »vBox« zu verarbeiten und eine Echtzeit-Kommunikation zu anderen Maschinen aufzubauen.

Technische Daten der vBox

- 4 x Analog-Eingang (+/-10V, 1 MOhm, DC, 80 kHz)
- 4 x Analog-Eingang (+/-10V, 16kOhm, 1 Hz, 80 kHz)
- 2 x High-Speed-Analog-Eingang mit integrierter FFT (+/-5 V, 50 Ohm, DC, 5 MHz)
- 4 x Encoder (1 Vss, TLL oder 11 mAss)
- 3 x Digital-Ausgang 5 V
- 3 x Digital-Ausgang 24 V
- 3 x Digital-Eingang 5 V
- 3 x Digital-Eingang 24 V
- 100 kHz Echtzeitmessung
- < 100 ns Uhrenabgleich
- 200 Mbit/s Ethernet
- 30 vBoxen vernetzbar



Stabilere Prozesse und bessere Produkte

»dPart«: Toolbox für die Digitalisierung von Fertigungsprozessen im Bereich Fräsen

Mit der zunehmenden Digitalisierung von Fertigungsprozessen wächst auch der Bedarf, weitere Potenziale der Informationsgewinnung und -Verarbeitung auszuschöpfen. Bis heute fehlen Methoden zur strukturierten Erfassung, Analyse, Verarbeitung und Visualisierung der Produktionsdaten, die einen wirtschaftlichen und technologischen Mehrwert bieten.

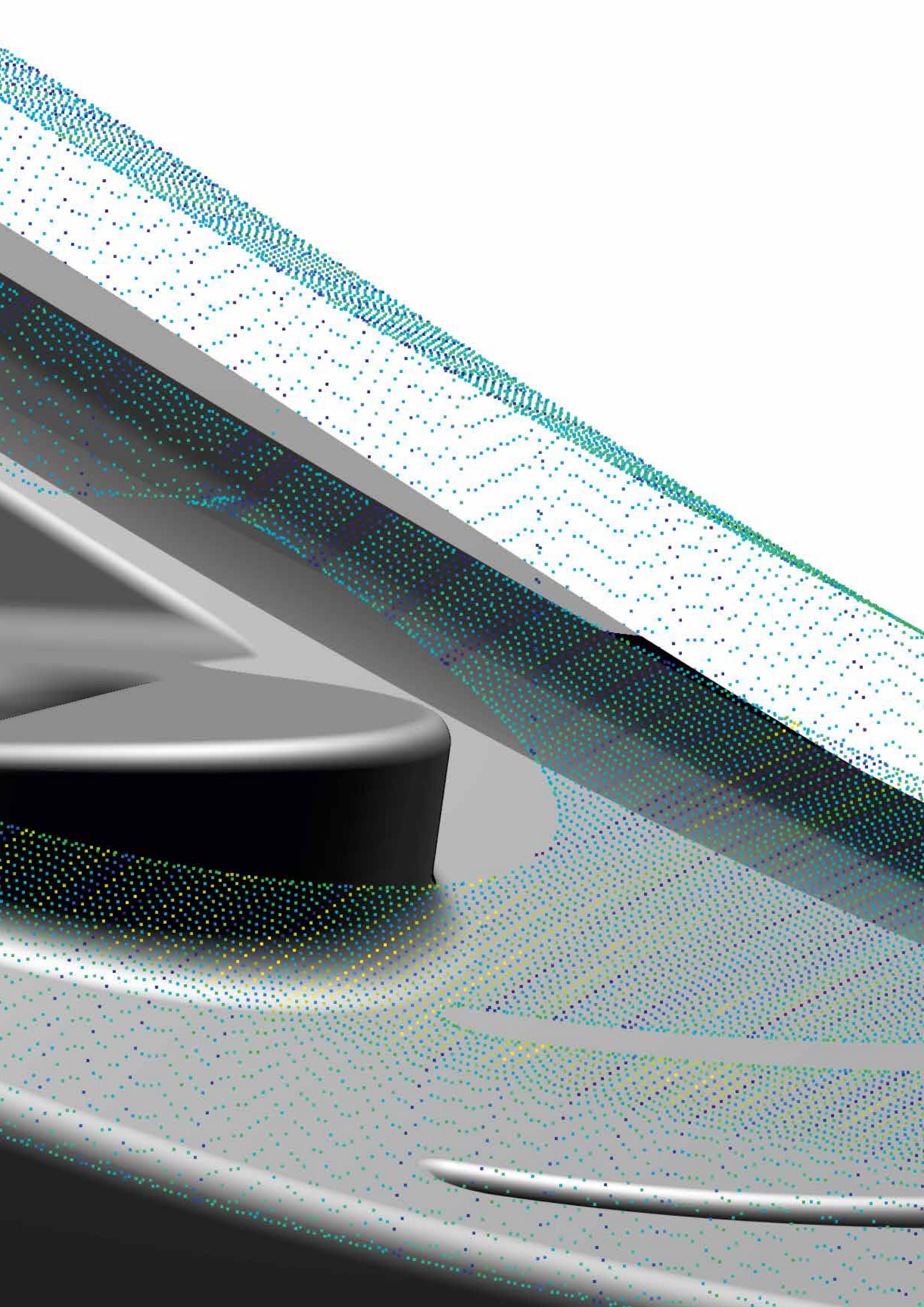
Die am Fraunhofer IPT entwickelte Toolbox »dPart« optimiert Produktionsprozesse im Bereich der Zerspanung und ermöglicht die wirtschaftliche Fertigung selbst anspruchsvollster Produkte. »dPart« ist eine Softwarelösung, die die komplette Datenerfassung bis zur Datenvisualisierung umfasst. Für die Toolbox entwickelte das Fraunhofer IPT nicht nur die neue Software zur Datenakquise aus Maschinensteuerungen, sondern untersucht auch in Unternehmen bestehende Produktionsprozesse und berät Unternehmen bei der Auswahl der passenden Lösung für ihren jeweiligen Anwendungsfall.

Die aufgenommenen Rohdaten verschiedener Quellen werden in »dPart« synchronisiert, zusammengeführt und zu einem strukturierten Datenpaket geschnürt – es entsteht ein »Digitaler Schatten«. Da sich aus den Rohdaten allein nicht auf direktem Wege die gewünschten Informationen ableiten lassen, werden diese Daten mithilfe physikalischer, logischer Modelle angereichert. Idealerweise können dadurch aus Rohdaten Prozesszustandsgrößen wie die Position eines Fräs-werkzeugs oder die Zerspankraft abgeleitet werden. Auf diese Weise entsteht ein digitales Abbild des Werkstücks: Der »Digitale Zwilling«. Das Ziel des »Digitalen Zwillings« ist es, den Bauteilzustand, also beispielsweise Maßabweichungen und die Oberflächenqualität hinreichend genau abzubilden. In weiteren Modellen wird das Wissen der Prozesszustandsgrößen weiterverarbeitet.

Durch das sogenannte »Big Data Management« lassen sich die gespeicherten Daten

einer Vielzahl »Digitaler Zwillinge« analysieren und daraus Ursache- und Wirkungszusammenhänge formulieren. »Big Data Management« bedeutet, dass die Daten einer Vielzahl von »Digitalen Zwillingen« analysiert und anhand statistischer Methoden wie Regressionsanalysen, Machine-Learning-Algorithmen und evolutionären Algorithmen mit Wissen angereichert werden, das zurzeit nicht in physikalisch herleitbaren Modellen abgebildet werden kann. Dadurch können für den Menschen abstrakte, nicht sichtbare Korrelationen und Zusammenhänge komplizierter Fertigungsprozesse abgebildet werden. Diese Zusammenhänge können schließlich in Form von Modellen zur Schärfung des digitalen Abbilds des Werkstücks genutzt werden. Das wiederum ermöglicht es, adaptive Prozesse und Prozessketten zu erstellen. Damit Bediener von »dPart« die Kontrolle über die Datenanalysen behalten, werden die Daten des »Digitalen Zwillings« orts aufgelöst direkt im CAD-Modell visualisiert oder in Diagrammen zusammengeführt.

Mit der Toolbox »dPart« sollen die Potenziale der Digitalisierung in wirtschaftliche und technologische Erfolge überführt werden: Durch den Einsatz von Methoden und Tools der Digitalisierung wird nicht zwangsläufig die Produktion günstiger, jedoch steigt die Produktqualität durch das verbesserte Prozessverständnis. Auf diese Weise lassen sich systematisch stabilere und effizientere Prozesse auslegen, selbst bei erhöhter Komplexität im Umgang mit neuen Werkstoffen und Geometrien sowie gleichzeitig wachsenden Anforderungen an die Einhaltung von Fertigungstoleranzen. Auch die Aufwände nicht-wertschöpfender Prozesse wie Sichtprüfungen und dimensionale Bauteilprüfungen lassen sich reduzieren. Der Aufbau der »dPart«-Toolbox ist auf Seite 23 dargestellt.



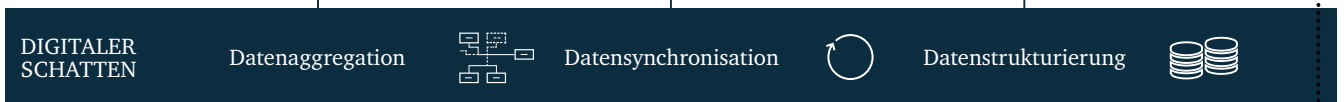
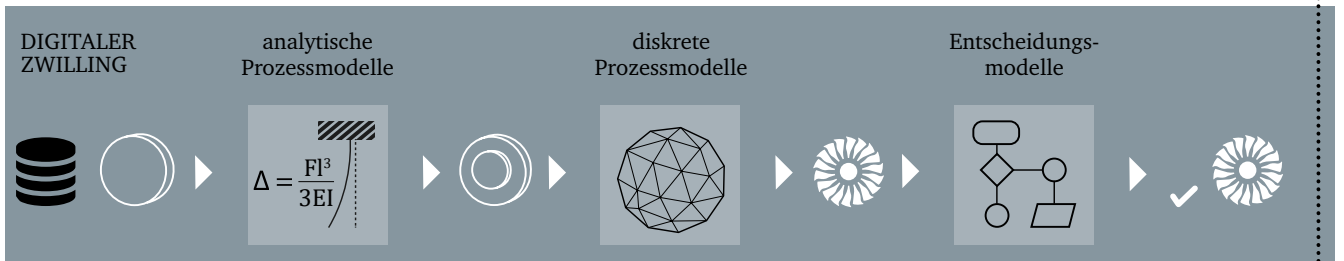
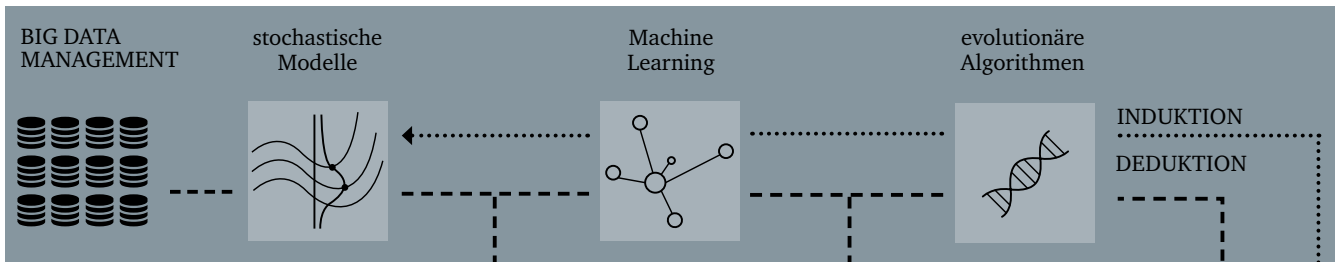
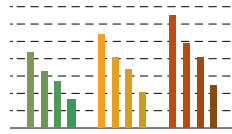
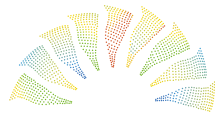
Aufbau der dPart-Toolbox

DATEN-VISUALISIERUNG

Ortsaufgelöste Datenvisualisierung

Visualisierung stochastischer Zusammenhänge

Visualisierung von Kennzahlen

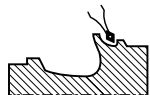


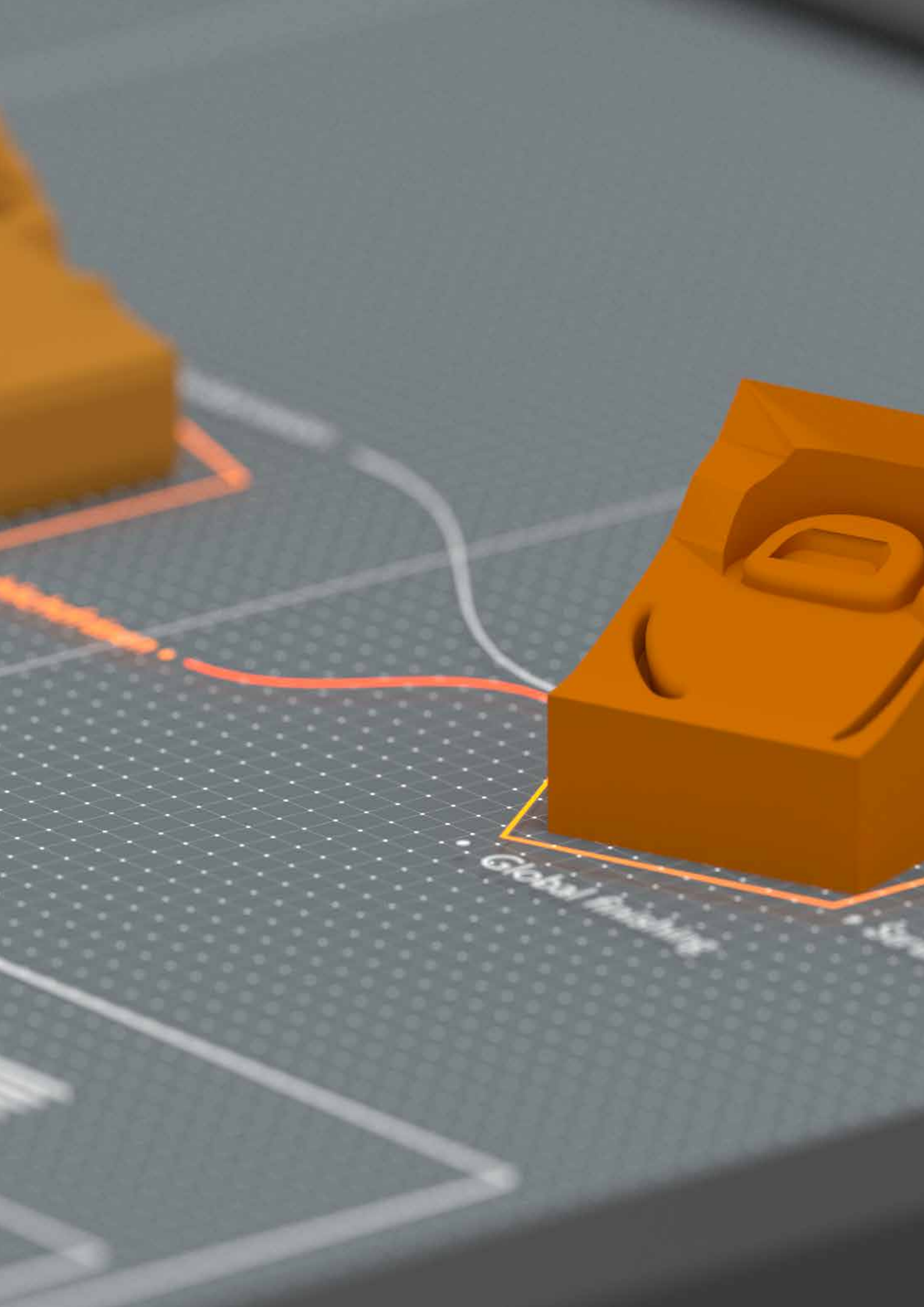
ROHDATEN-AKQUISITION

Drehen

Fräsen

Prüfen





Adaptive Prozesskettenplanung in der Fertigung

Fraunhofer IPT entwickelt Prozessketten-Planungstools »Adaptive Process Chain Generator« im Rahmen des Leistungszentrums »Vernetzte, Adaptive Produktion«

Die Prozessplanung in der Einzel- und Kleinserienfertigung basiert auch heute oft noch vor allem auf der Erfahrung einzelner Mitarbeiter. Sie umfasst sowohl die Bewertung von Werkstück-Features als auch von Produktionsanlagen des Unternehmens im Hinblick auf die Herstellbarkeit und Wirtschaftlichkeit.

Produzierende Unternehmen, die unterschiedliche Fertigungsverfahren einsetzen, sehen sich – je nach Kombination und Abfolge der Verfahren – einer Vielzahl möglicher Prozessketten gegenüber: Jede Prozesskette besteht aus mehreren Fertigungsschritten, mit denen die geometrische Form hergestellt und eine bestimmte Material- sowie Oberflächenqualität sichergestellt wird.

Viele dieser Schritte können ihrerseits mit unterschiedlichen Verfahren realisiert werden. Daraus leitet sich eine exponentiell wachsende Menge an möglichen Prozessketten und -elementen ab.

Die enorme Vielzahl der möglichen Prozessketten erschwert eine Prozesskettenbewertung und -auswahl, und somit auch die Planung. Die Komplexität beim Vergleich und der Bewertung der existierenden Prozesskettenalternativen übersteigt schnell wirtschaftlich akzeptable Aufwände und wird folglich nur in unzureichendem Maße durchgeführt.

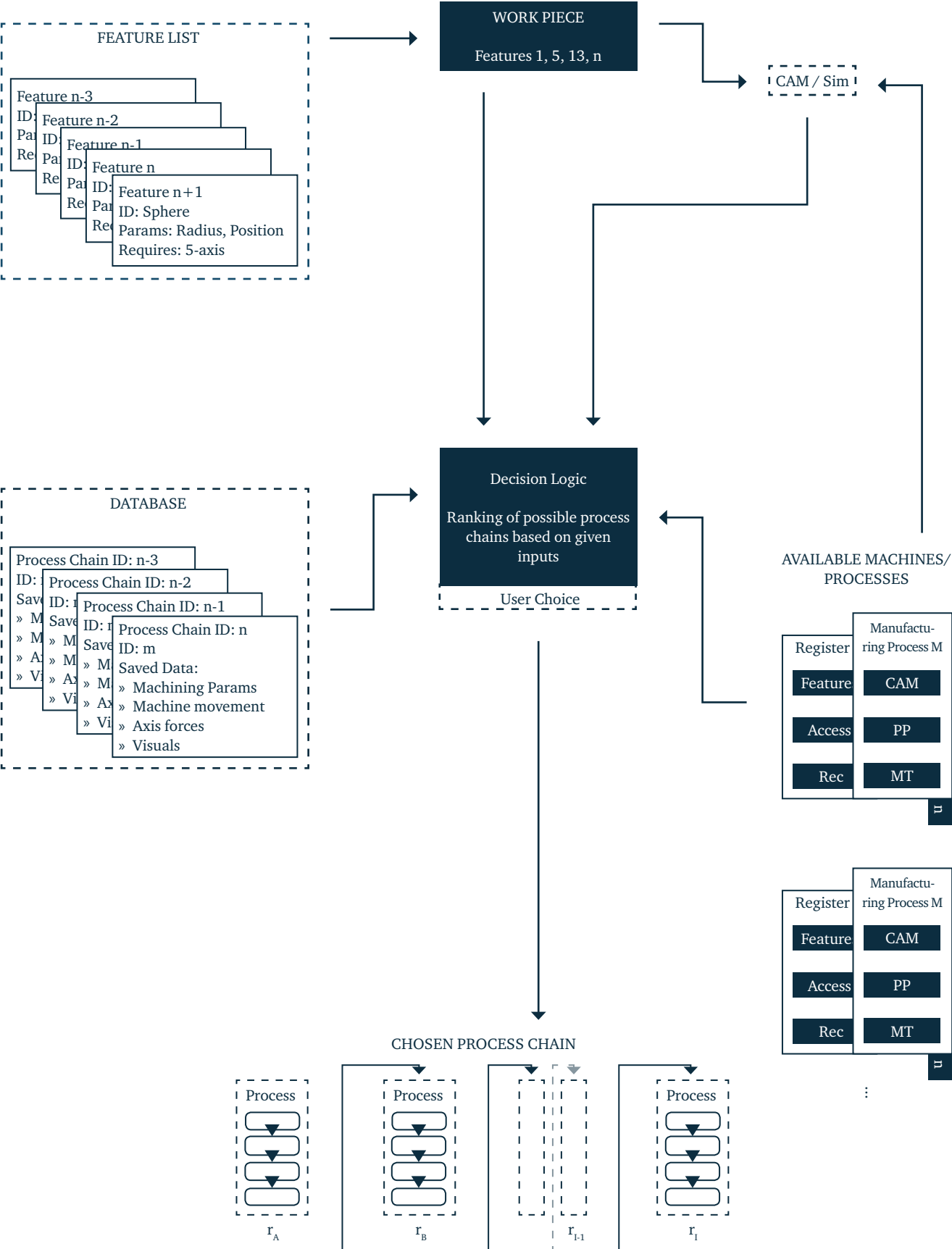
Das Fraunhofer IPT entwickelt zu diesem Zweck die Software »Adaptive Process Chain Generator«, mit der sich eine solche Prozesskettenbewertung rechnergestützt bewältigen lässt. Aufgabe der Softwarelösung ist es, den Betrachtungsumfang von vornherein auf diejenigen Fertigungsprozessketten zu reduzieren, die in der Lage sind, das Werkstück unter sinnvollen wirtschaftlichen Bedingungen herzustellen.

Die Software berücksichtigt dafür drei zentrale Informationsquellen:

1. Die verfügbaren Fertigungstechnologien, vertreten durch die verfügbaren Bearbeitungsmaschinen, werden anhand statischer Daten, beispielsweise Datenblätter, kategorisiert, um sowohl die Fähigkeiten der Maschinen als auch ihre theoretische Produktivität festzustellen.
2. Die Features des Werkstücks, etwa Geometrie, Oberflächenrauheit und Maßtoleranz, fließen in die Bewertung ein. So können bestimmte Maschinen ausgeschlossen, oder Nachbearbeitungsbedarf aufgrund hoher Oberflächenanforderungen bereits im Vorfeld identifiziert werden.
3. Zuletzt wird die Fertigungshistorie der eingesetzten Maschinen berücksichtigt, die sich aus Sensordaten der Fertigung bereits produzierter Werkstücke sowie weiterer maschinenbezogener Informationsquellen speist.

Diese Informationen fließen in eine Entscheidungslogik ein, die die Auswahl der Prozessketten auf einen Bruchteil der ursprünglichen Varianten reduziert und damit die Prozessplaner des Unternehmens unterstützt. Der Anwender der Software kann darüber hinaus selbst gewählte Optimierungskriterien wie Zeit, Kosten und Qualität angeben. Darüber hinaus werden zeitintensive und kostspielige Aktionen wie ein Maschinenwechsel einkalkuliert. Schließlich sind schnelle Neuberechnungen auf Basis weiterer Randbedingungen möglich: Der Anwender kann zum Beispiel gezielt bestimmte Technologien oder Prozessabfolgen ein- oder ausschließen. Der methodische Aufbau der Entscheidungslogik ist auf Seite 27 dargestellt.

Entscheidungslogik zur adaptiven Prozesskettenplanung





Ausblick

Die Digitale Fräsprozesskette ist auf dem besten Weg der umfassenden Implementierung – Werkzeugbaubetriebe haben jetzt die Chance, mit einzelnen Elementen zu beginnen.

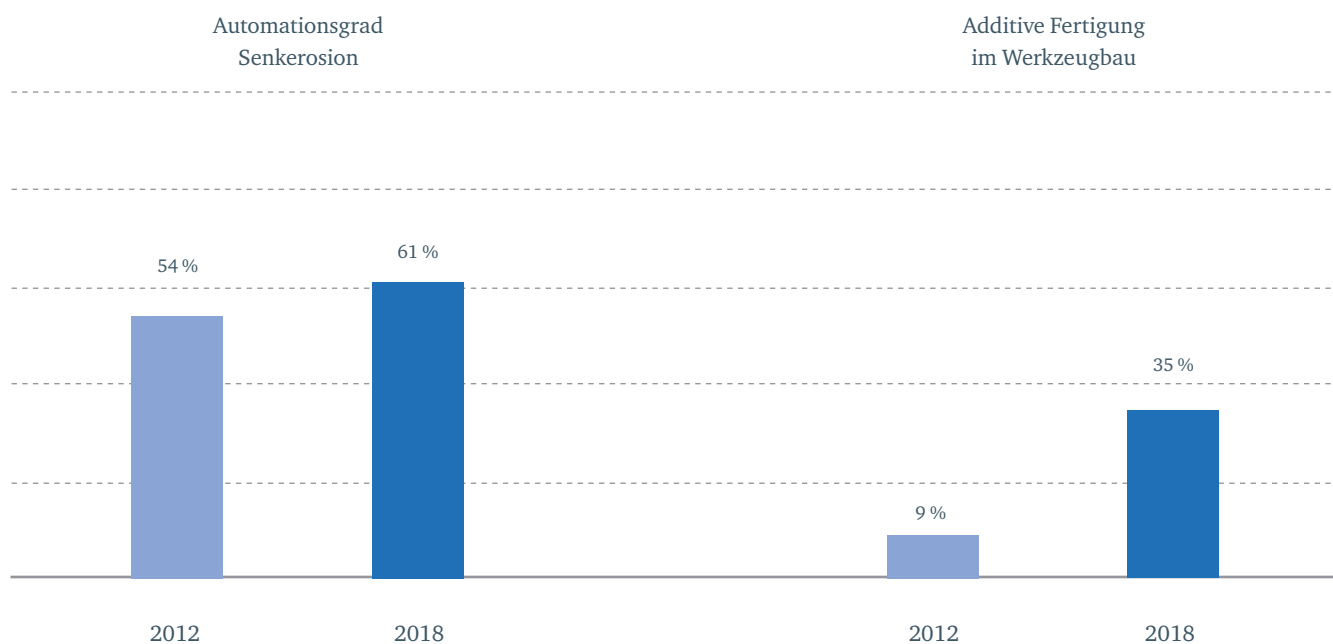
Die Digitalisierung ist im Werkzeugbau angekommen. Die Studie zeigt, dass bereits verschiedene Lösungen – explizit auch für den Werkzeugbau – vorhanden sind und eingesetzt werden können. Damit ist die Weiterentwicklung de Werkzeugherstellungsprozesses jedoch nicht abgeschlossen.

Der Werkzeugbau hat in den letzten Jahren gezeigt, dass er moderne Entwicklungen mitgegangen ist oder gar mitgestaltet hat. Die Teilnehmenden Werkzeugbaubetriebe am Wettbewerb »Excellence in Production« (EiP) zum »Werkzeugbau des Jahres« zeigen dies eindrücklich. In Zahlen: Im Zeitraum 2012 bis 2018 ist der Automationsgrad in der Technologie Senkerosion von 54 % auf 61 % gestiegen. Der Anteil der Betriebe, die additive Fertigungstechnologien intern nutzen, hat von 9 % auf 35 % deutlich zugenommen (s. auch Grafik unten).

Weitere Entwicklungen werden zu einer Verstetigung des Digitalisierungsprozesses

führen. Eine digital umfassend unterstützte Werkzeugherstellung wird neuer Standard werden. Das »Internet der Dinge« hält aktuell Einzug, z.B. leistet die »vBox« hier einen wichtigen Beitrag. Wird das »Internet der Dinge« im Produktionsumfeld eingesetzt, spricht man auch vom »Internet of Production«.

Als Branche, die durch individuelle Bauteilanforderungen und Unikatfertigung geprägt ist, bietet die Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) große Potentiale für den Werkzeugbau: Selbstlernende Algorithmen werden in Zukunft die bestmögliche Prozesskette für die Fertigung eines Bauteils auswählen und die produktivsten, zu höchster Qualität führenden Bearbeitungsparameter für die verschiedenen Technologien wie Fräsen oder Senkerosion finden. Forschungsprojekte an mehreren Universitäten und Instituten, darunter insbesondere das Fraunhofer IPT und das WZL der RWTH Aachen, gehen dieser Fragestellung an.



Autoren



Prof. Dr. Wolfgang Boos
Geschäftsführer
WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH



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



Dr. Florian Degen MBA
Abteilungsleiter Hochleistungszerpannung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Moritz Wollbrink
Geschäftsfeldleiter Werkzeugbau
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Vincent Gerretz
Gruppenleiter Grundlagen und Technologieentwicklung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Tae Hun Lee
Gruppenleiter Maschinenentwicklung und -vernetzung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Mario Pothen

Kompetenzfeldleiter Digitalisierung und Vernetzung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Tommy Venek

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



Markus Landwehr

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Prozessplanung und CAx-Technologien in der Hochleistungszerspannung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Felix Konstantin Maurer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Prozessplanung und CAx-Technologien in der Hochleistungszerspannung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Oliver Henrichs

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Steffen Lowis

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Maschinenentwicklung und -vernetzung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Unsere Studien – Strategische Entwicklung



*Intelligente
Werkzeuge
und datenbasierte
Geschäftsmodelle*
2018



*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
Fokussieren und
Segmentieren**
2019



**Erfolgreich
Digitale Fräs-
prozessketten
Umsetzen**
2019



**Erfolgreich
Lieferanten
Managen**
2018



**Erfolgreich
CAX-Prozessketten
Gestalten**
2018



**Erfolgreich
Fräsen**
2018



**Erfolgreich
Automatisieren**
2017



**Erfolgreich
Restrukturieren**
2017



**Erfolgreich
Performance
Messen**
2017



**Erfolgreich
Fertigungstechno-
logien Einsetzen**
2017



**Erfolgreich
Finanzieren**
2016



**Erfolgreich
Digital Vernetzen**
2016



**Erfolgreich
Mitarbeiter
Motivieren**
2016

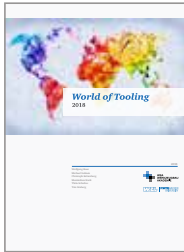


**Erfolgreich
Kalkulieren**
2015



**Erfolgreich
Planen**
2015

Unsere Studien – Tooling in...



World of Tooling
2018



Tooling in Czech Republic
2018



Tooling in Germany
2018



Tooling in China
2016



Tooling in Turkey
2016



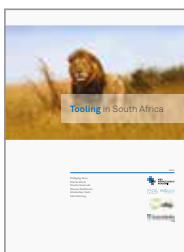
Tooling in Germany
2016



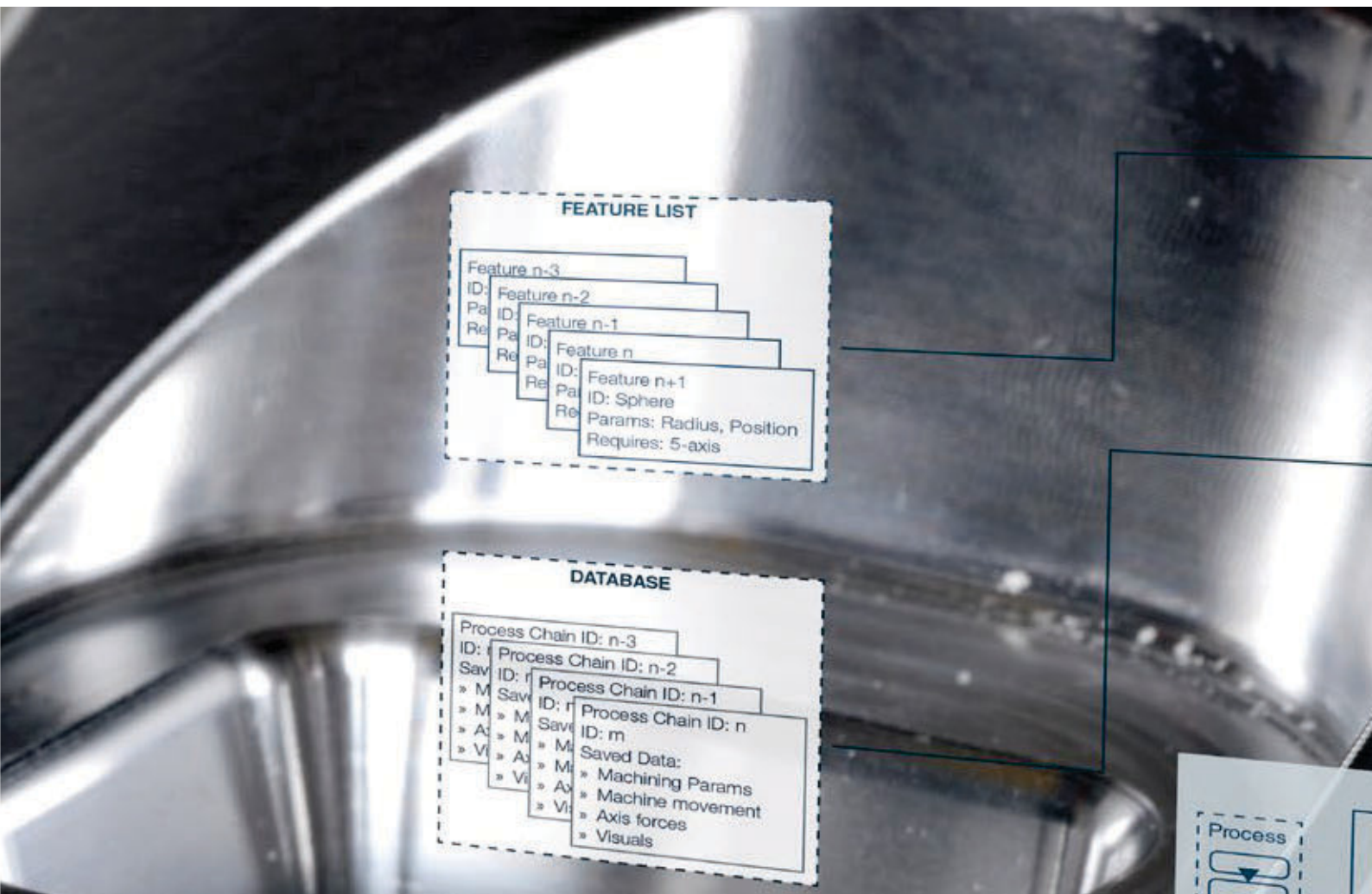
World of Tooling
2015



Tooling in China
2015



Tooling in South Africa
2014



Herausgeber

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Campus-Boulevard 30

D-52074 Aachen

www.werkzeugbau-akademie.de

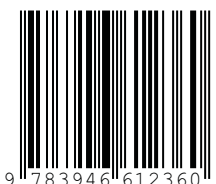
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Steinbachstraße 17

D-52074 Aachen

www.ipt.fraunhofer.de

978-3-946612-36-0



9 783946 612360