

Smart Tooling

2016

2016

Wolfgang Boos
Michael Salmen
Advan Begovic
Christoph Kelzenberg
Felix Stracke





WBA Aachener Werkzeugbau Akademie

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



Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen steht mit seinen 900 Mitarbeitern weltweit als Synonym für erfolgreiche und zukunftsweisende Forschung und Innovation auf dem Gebiet der Produktionstechnik. In vier Forschungsbereichen werden sowohl grundlagenbezogene als auch an den Erfordernissen der Industrie ausgerichtete Forschungsvorhaben durchgeführt. Darüber hinaus werden praxisgerechte Lösungen zur Optimierung der Produktion erarbeitet. Das WZL deckt mit den vier Lehrstühlen Fertigungstechnik, Werkzeugmaschinen, Messtechnik und Qualität sowie Produktionssystematik sämtliche Teilgebiete der Produktionstechnik ab.

Impressum

Smart Tooling
Copyright © 2016

Autoren:
Dr. Wolfgang Boos, Michael Salmen, Advan Begovic,
Christoph Kelzenberg, Felix Stracke

Gestaltung: Janina Schmitz
ISBN: 978-3-946612-09-4
Druck: printclub, 1. Edition

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

Werkzeugmaschinenlabor WZL der Rheinisch-Westfälischen
Technischen Hochschule Aachen
Steinbachstraße 19, D-52074 Aachen
www.wzl.rwth-aachen.de

Smart Tooling

2016

2016

Wolfgang Boos
Michael Salmen
Advan Begovic
Christoph Kelzenberg
Felix Stracke



Spotlight

Quo vadis Werkzeugbau? Eine hochspannende Frage. Die dynamischen Veränderungen im Wettbewerbsumfeld erfordern eine Lern- und Anpassungsfähigkeit, die sich in einem agilen Werkzeugbau durch die Nutzung der Potenziale von Industrie 4.0-Anwendungen realisieren lässt. Berührungspunkte zwischen Agilität, Industrie 4.0 und Werkzeugbau gab es bislang nur wenige. Doch das Klopfen am Eingangstor des Werkzeugbaus wird immer lauter und ist nicht mehr zu überhören...

Die Zukunft wird produzierende Unternehmen und damit auch Werkzeugbaubetriebe grundlegend verändern. Der durch Industrie 4.0-Anwendungen mögliche Produktivitätsanstieg durch die ganzheitliche digitale Vernetzung aller am Produktionsprozess beteiligten Entitäten sowie die daraus

resultierende Veränderung der gesamten Unternehmensorganisation ist zukünftig erforderlich, um im hochkompetitiven Wettbewerb Erfolg zu haben. Doch wie agil sind Werkzeugbaubetriebe heutzutage bereits durch den Einsatz von Industrie 4.0-Anwendungen? Und was heißt eigentlich „Industrie 4.0 im Werkzeugbau“? Richtig intuitiv ist die Thematik nicht. Die vorliegende Studie navigiert Werkzeugbaubetriebe durch die Wortwolke Industrie 4.0 und zeigt zentrale Handlungsfelder zur Realisierung eines agilen Werkzeugbaus durch Industrie 4.0-Anwendungen als die zentralen Befähiger auf. Auf Basis des aktuellen Readiness-Index werden gleichzeitig konkrete Handlungsempfehlungen zur Gestaltung eines agilen Werkzeugbaus mittels Industrie 4.0 abgeleitet.

62 %

der Werkzeugbaubetriebe integrieren und thematisieren Industrie 4.0-Fragestellungen in regelmäßigen Arbeitskreisen



77 %

der Werkzeugbaukunden sind in Zukunft bereit, Daten früher und in stärkerem Umfang in der Produktentwicklung zur Verfügung zu stellen

43 %

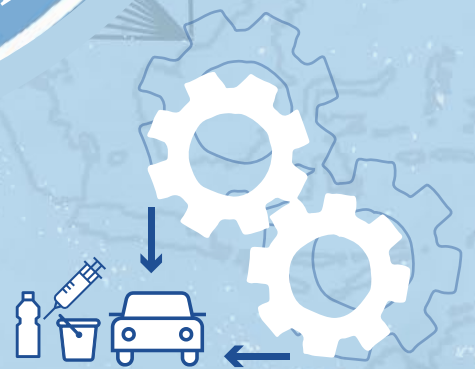
der Mitarbeiter auf dem Shopfloor fühlen sich nicht oder nicht ausreichend stark informiert

114.781 €

beträgt aktuell das durchschnittliche jährliche Investitionsvolumen von Werkzeugbaubetrieben in Industrie 4.0-Anwendungen

63 %

der Werkzeugbaubetriebe sehen kundenindividuelle Lösungen unter dem Einsatz sogenannter Smart Solutions als das zukünftig erfolgversprechendste Geschäftsfeld an



Studiendesign

Die Diskussionen um Industrie 4.0 und die mit dieser zu realisierende Agilität und Lernfähigkeit von Unternehmen beschäftigen aktuell die gesamte produzierende Industrie. Hierbei entstehen individuelle Interpretationen und Ansichten, woraus sich notwendige Handlungsfelder zusammensetzen. Bei der Suchmaschinenrecherche im Internet nach dem Begriff Industrie 4.0 werden mehr als 300.000 unterschiedliche Suchergebnisse angezeigt. Viele der angezeigten Definitionen sind vage und lassen viel Raum für Interpretation, andere setzen wiederum Industrie 4.0 mit der Digitalisierung, also dem Kernelement der dritten industriellen Revolution, gleich. Obwohl der Begriff und der Inhalt von Industrie 4.0 durch die Forschungsinstanzen der deutschen Bundesregierung definiert und in der sogenannten Hightech-Strategie verankert sind, gibt es in der gesamten Produktionstechnik aktuell kein einheitliches Verständnis über das leitende Handlungsparadigma der Zukunft. Zudem wird häufig der Mehrwert der Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen zur Realisierung agiler Unternehmensprozesse und lernender Organisationsstrukturen nicht erkannt.

Während in einigen Branchen der Serienproduktion bereits erfolgreiche Beispiele sich an die veränderten Umgebungsbedingungen anpassender Produktionsbetriebe existieren, finden sich bei Einzel- und Kleinserienfertigung und insbesondere in Werkzeugbaubetrieben kaum entsprechende Vorbilder. Zur Implementierung einer zukunftsfähigen Organisation unter Einbezug von Möglichkeiten der Industrie 4.0 sind Kompetenzen erforderlich, die traditionell nicht im Werkzeugbau zu finden sind und aufgrund der weitestgehend durch kleine und mittlere Unternehmen (KMUs) geprägten Branchenstruktur ebenfalls nicht in das Unternehmen integriert werden. Zudem fehlt es der Branche aktuell an einem einheitlichen Verständnis für eine konkrete Zielsetzung, die auf die Charakteristika der Geschäftstätigkeiten von Werkzeugbaubetrieben zugeschnitten ist. Als Befähiger der Serienproduktion und Innovationstreiber für Produkte und Prozesse müssen Werkzeug-

baubetriebe stets der Dynamik der Serienproduktion gerecht werden. Die Möglichkeiten von Industrie 4.0-Anwendungen bieten zur Bewältigung dieser die notwendigen technologischen Möglichkeiten. Hierzu ist es zunächst notwendig, den Status quo der Umsetzung von Industrie 4.0 im eigenen Betrieb aufzunehmen und im Branchenkontext zu bewerten. Im Sinne einer Zukunfts-Roadmap sind Werkzeugbaubetriebe zudem dazu angehalten, die Integration von Industrie 4.0-Anwendungen zu systematisieren, um dadurch die Agilität und Lernfähigkeit der eigenen Organisation und Prozesse sicherzustellen.

Das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen und die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie beschäftigen sich seit einigen Jahren mit den Inhalten und der Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen in der Unikatfertigung. Hierbei wird das Ziel verfolgt, die Potenziale dieser zu nutzen, um durch agile und wandlungsfähige Organisations- und Prozessstrukturen die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen sicherzustellen. Das WZL hat mit zahlreichen Veröffentlichungen, Studien sowie Forschungsprojekten und -ergebnissen zur Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen in der Industrie beigetragen. Aus dem in diesem Zusammenhang generierten Wissen konnten die für den Werkzeugbau relevanten Themenbereiche identifiziert werden. Diese sind den Handlungsfeldern der Smart Organization, Smart Innovation sowie Smart Shopfloor und Smart Solutions zuzuordnen. Durch eine Befragung von Mitarbeitern aus zahlreichen Werkzeugbaubetrieben konnte der Status quo der Umsetzung von Industrie 4.0 sowie die zukünftige Bedeutung in den einzelnen Handlungsfeldern identifiziert werden. Verknüpft mit dem ganzheitlichen Fachwissen vom WZL und der WBA über Produkte, Prozesse und Ressourcen konnte ein Readiness-Index im Hinblick auf die Zukunftsfähigkeit der Branche Werkzeugbau entwickelt werden, auf dessen Basis Werkzeugbaubetriebe ihre Strategie zur Implementierung von Industrie 4.0 ableiten können.



Agilität mittels Industrie 4.0

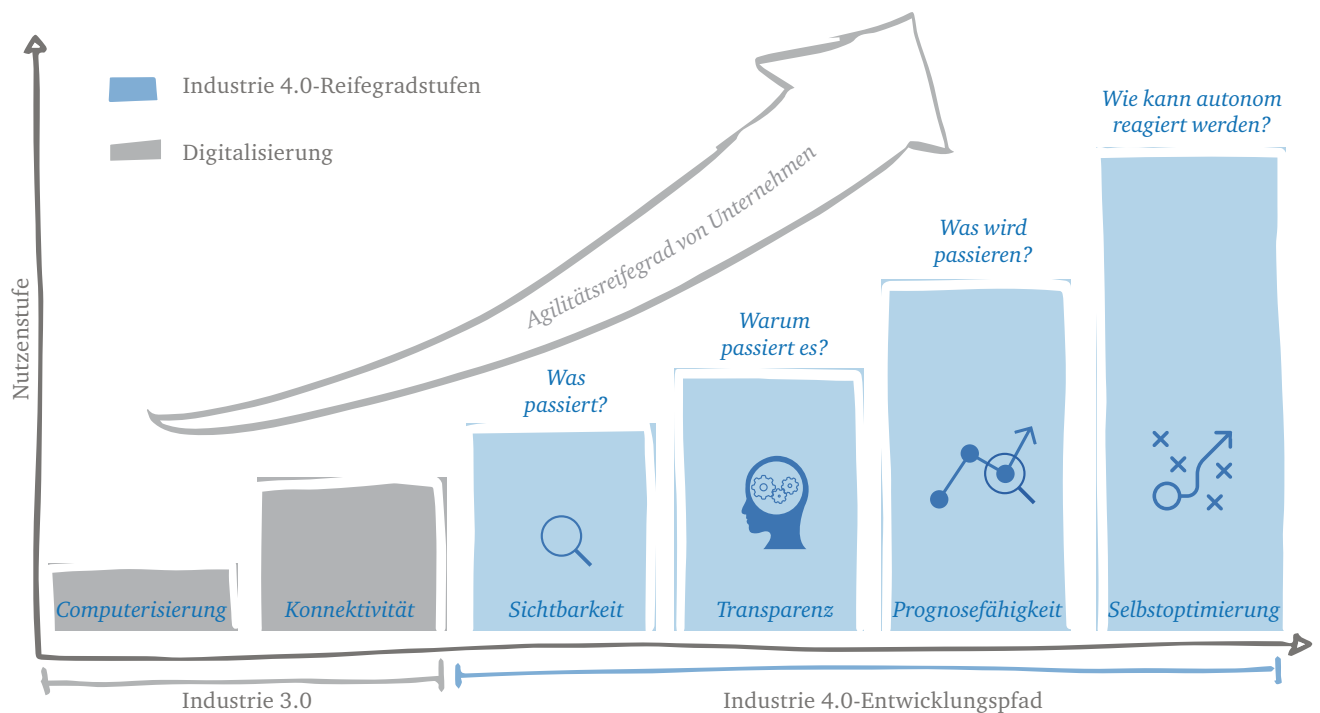
Allgemeines

Die vierte industrielle Revolution gliedert sich in eine Reihe von drei vorangegangenen industriellen Revolutionen ein. Die erste industrielle Revolution veränderte mit der Etablierung der Dampfmaschine das Verständnis von mechanischer Energieerzeugung sowie Energieumwandlung und legte damit den Grundstein der Industrialisierung von Produktionsbetrieben. Der Taylorismus bzw. Fordismus rationalisierte im Rahmen der zweiten industriellen Revolution die industrielle Fertigung mithilfe der Arbeitsteiligkeit und ermöglichte die Massenfertigung von Gütern. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts wandelte der Computer und die damit verbundene Digitalisierung Produktionsabläufe in Richtung Automatisierung sowie Erreichung einer höheren Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Die vierte industrielle Revolution setzt auf der Digitalisierung auf und zielt durch eine internet-

basierte Vernetzung digital veredelter Objekte einer Produktion auf die Nutzung der Potenziale einer kollaborativen Produktion ab. Die Nutzung der Potenziale folgt dem Prozess: Sehen, Verstehen, Vorhersagen und im Ergebnis Optimieren.

Die Entwicklung der Fähigkeit zur Datensammlung erfordert die Digitalisierung und mit ihr die Konnektivität sowie die Computerisierung im Unternehmen, die in mehreren Etappen zu durchlaufen ist. Hierbei nimmt die Fähigkeit zur Erfassung und Nutzung von Daten mit zunehmenden Etappen zu und setzt die Erfüllung mehrerer Teilziele voraus (vgl. Abbildung). Das erste Teilziel zur Realisierung des Mehrwerts einer kollaborativen Produktion beschreibt die digitale Veredelung der Objekte in der Produktion sowie die Ermittlung der digitalen Identität dieser. Die digitale Identität von Objekten, zu denen sowohl Menschen

Industrie 4.0-Reifegradstufen



als auch Maschinen gezählt werden, kann als Digitaler Schatten bezeichnet werden. Folglich generiert neben dem Menschen jeder Prozess entlang der Wertschöpfungskette in der produzierenden Industrie sowie jedes Produkt zu jeder Phase des Lebenszyklus durch technologische Entwicklungen in der Sensor- und Übertragungstechnik einen eigenen Digitalen Schatten und schafft damit eine Sichtbarkeit der Zustände und Abläufe. Der Digitale Schatten stellt eine Sammlung von Daten dar, die relevante Informationen entlang aller wertschöpfenden Prozesse sowie Produktinformationen entlang des gesamten Produktlebenszyklus in digitaler Form enthält.

Nachdem im ersten Schritt durch die geschaffene Sichtbarkeit die relevanten Informationen in der zur nachträglich stattfindenden Entscheidungsfindung notwendigen Granularität bereitgestellt worden sind, gilt es im Nachfolgenden, Transparenz über die Ursachen von Zuständen zu schaffen und Vorgänge zu verstehen. Die Gewinnung von Erkenntnissen über bestehende Wirkungszusammenhänge im Unternehmen erfordert zur Interpretation die zielgerichtete Analyse von während Geschäftsaktivitäten und Produktionsprozessen entstehenden Daten. Dies erfolgt durch die Verknüpfung und Aggregation sowie die zugehörige kontextuelle Einordnung von Daten und führt zu Informationen, die zur Entscheidungsunterstützung benötigt werden. Die Prognosefähigkeit ist die dritte Etappe des Industrie 4.0-Entwicklungspfads. Hierbei bewirkt die Prognosefähigkeit, dass das Unternehmen auf die anstehenden Ereignisse vorbereitet ist und sich den resultierenden Auswirkungen stellen kann, indem mögliche Unternehmenszustände in die Zukunft projiziert und ihre jeweilige Eintrittswahrscheinlichkeiten bewertet werden. In der Folge sind Unternehmen in der Lage, bevorstehende Ereignisse zu antizipieren und rechtzeitig notwendige Reaktionsmaßnahmen einzuleiten. Die Fähigkeit zur Auswertung von Datenabhängigkeiten in Big Data sowie das Verständnis

über Wirkzusammenhänge und die Ableitung von Prognosen befähigen Unternehmen dazu, selbstoptimierende Prozesse und Systeme zu schaffen. Auf diese Weise entstehen Regelkreise. Die Aufgabe des Menschen verlagert sich auf das Überwachen und bedarfsgerechte Eingreifen in den Prozess.

Gleichzeitig verändern sich Organisationsstrukturen im zukunftsfähigen Werkzeugbau, um besser auf sich verändernde Rahmenbedingungen reagieren zu können. Mitarbeiter arbeiten in Projekten interdisziplinär zusammen und sind stets über relevante Zustände und Entwicklungen informiert. Sie optimieren die Gesamtunternehmung statt ihren eigenen Tagesablauf. Der Innovationsprozess im Unternehmen erfolgt zielgerichteter, indem das Werkzeug iterativ entwickelt wird. Die Integration in Kundenprozesse nimmt zu, wodurch eine präzise Erfüllung des Kundenwunsches möglich wird. Im Fertigungsprozess lassen sich Ursachen für Abweichungen von geplanten Zuständen präzise und datengestützt ergründen. Produkte und Dienstleistungen werden im Sinne einer optimalen Kundenlösung datenbasiert angeboten – dies beinhaltet nicht zwangsläufig das materielle Werkzeug als Kern der Lösung. Insgesamt wird die Agilität und Wandlungsfähigkeit der gesamten Organisation maßgeblich gesteigert. Das Gesamtziel selbstoptimierender Systeme und Prozesse ist die vollständige Ausschöpfung der Daten des Digitalen Schattens, sodass optimale Entscheidungen in kürzester Zeit getroffen und die situationsbedingt besten Maßnahmen eingeleitet werden können.

Befähigende Technologien

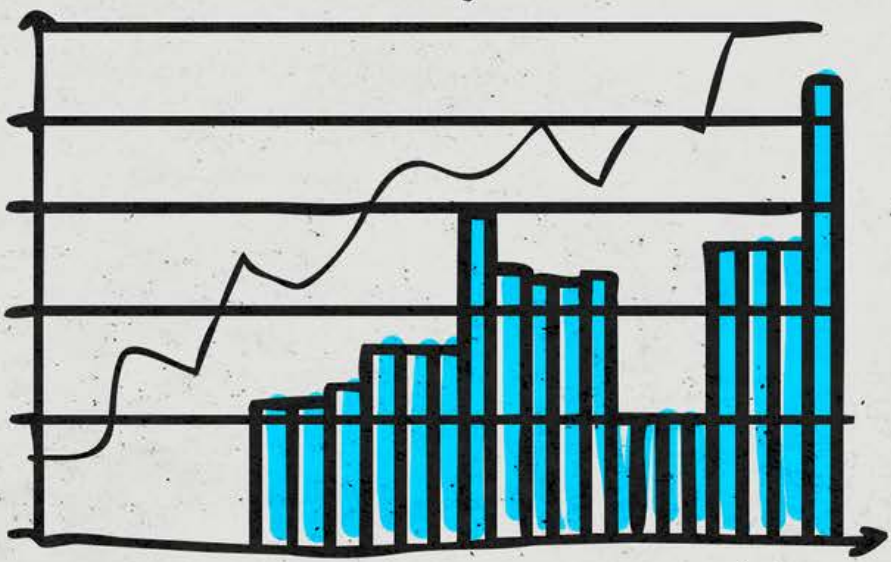
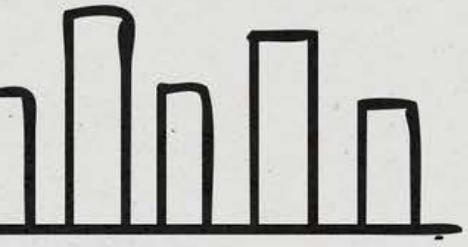
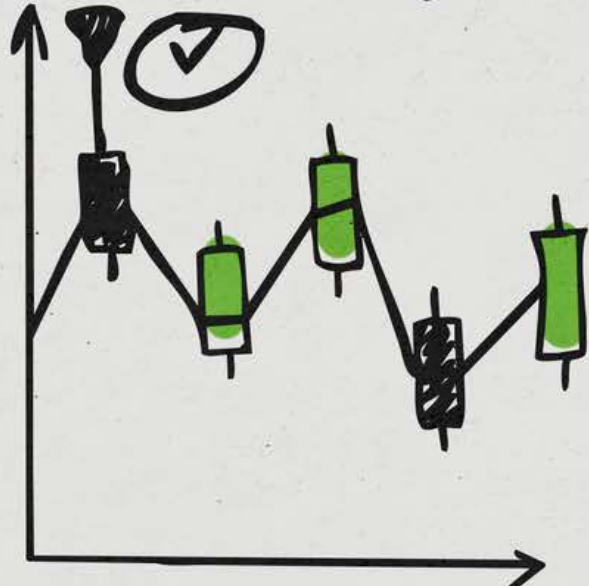
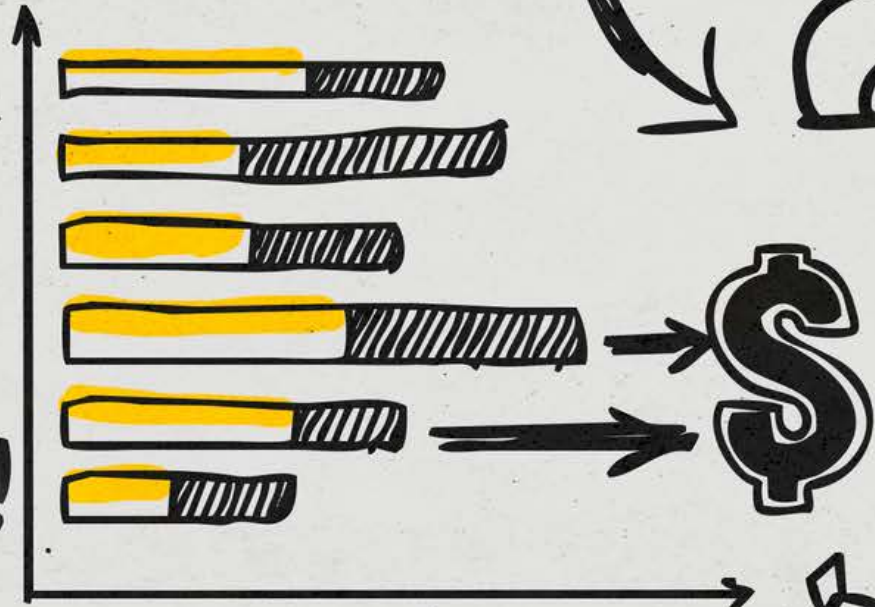
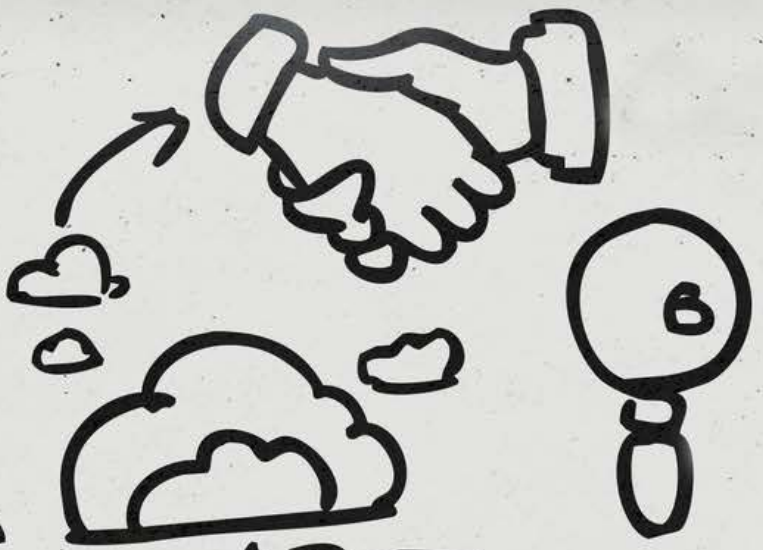
Industrie 4.0 basiert im Wesentlichen auf der Vernetzung von entlang der Wertschöpfungskette digital veredelten Objekten, die infolgedessen untereinander eine Kommunikation realisieren können. Aufgrund der Vielzahl der dabei entstehenden Daten genügen klassische Analyse- und Auswertungsverfahren häufig nicht mehr zur Datenver-

arbeitung und erfordern Technologien und Anwendungen, die die Verarbeitung und Verknüpfung der sehr großen und häufig heterogenen Datenmengen (Big Data) ermöglichen. Vielmehr sind hierzu entweder parallel oder verknüpfend zu den bereits existierenden betrieblichen Systemen wie Enterprise-Resource-Planning-Systemen (ERP-Systemen) oder Manufacturing-Execution-Systemen (MES) Big Data fähige Soft- und Hardware Lösungen erforderlich, die ihre Abläufe in Clouds stattfinden lassen. Hierbei finden High-Performance Computer Systeme (HPC-Systeme) Einsatz, die sich durch eine höhere Rechen- und Speicherleistung auszeichnen. Das daraus entstandene Dienstleistungsmodell wird als Cloud-Computing bezeichnet, da mehreren Unternehmen gleichzeitig der Zugang zu der für Big Data Anwendungen erforderlichen leistungsfähigen Infrastruktur ermöglicht wird. Auf diese Weise können umfangreiche Datenanalysen durchgeführt werden, um unbekannte Wirkungszusammenhänge im Digitalen Schatten des Unternehmens zu identifizieren und diese als Eingangsparameter verschiedenen IT-Systemen zur Verwertung zur Verfügung zu stellen. Die Datenanalyse wird primär durch Advanced Analytics Verfahren vorgenommen, deren Algorithmen im Bereich des Data Minings einzuordnen sind.

Einige Unternehmen stehen den Entwicklungen um das Thema Industrie 4.0 äußerst kritisch gegenüber. Nicht zuletzt ist dies darauf zurückzuführen, dass sie den konkreten Mehrwert nicht erkennen, der aus der Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen in Geschäftsprozessen und Organisationsstrukturen resultiert. Der Mehrwert von Industrie 4.0-Anwendungen lässt sich jedoch konkret an kurz- sowie mittel- und langfristigen Potenzialen belegen. Kurzfristig führt die internetbasierte Vernetzung aller digital veredelter Objekte zu einem Anstieg der Transparenz im Leistungserstellungsprozess des Unternehmens. Die Komplexität dieser, bedingt durch die Viel-

zahl der unternehmensweit stattfindenden Abläufe zwischen den beteiligten Entitäten (Menschen, Maschinen, Produkte und Systeme), wird für die Mitarbeiter reduziert, weil eine Aufbereitung und transparente Darstellung von Daten in direkten sowie indirekten Bereichen Zusammenhänge aufdeckt und in einer intuitiv verständlichen Form darstellt. Nach einer Phase der Datensammlung und -darstellung lässt sich mittelfristig die Phase der Datenanalysen und -interpretationen starten, die durch das Verständnis für Zusammenhänge und das Erkennen von Ursache-Wirkungs-Beziehungen eine Prognosefähigkeit für die Zukunft erlaubt und zur Optimierung bestehender Geschäftsprozesse führt. Daraus resultieren mittelfristig Effizienzsteigerungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, die in einem höheren Output bei gleichbleibendem oder reduziertem Input resultieren. Basierend auf den beschriebenen Potenzialen der Prognosefähigkeit mittels Daten setzt langfristig ein Lernprozess in der gesamten Unternehmensorganisation ein, mit Hilfe dessen Veränderungen der Umwelt antizipiert werden können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Einsatzgebiete von Industrie 4.0-Anwendungen in der produzierenden Industrie weitreichend sind und einen erheblichen Einfluss sowohl auf die internen Prozesse als auch auf das Leistungsportfolio der Betriebe haben werden. Die möglichen Einsatzgebiete gilt es zu identifizieren und vor dem Hintergrund einer Nutzen- und Aufwandsbewertung zu implementieren. Die übergeordnete Zielstellung sollte hierbei stets die Erhöhung der unternehmensweiten Agilität sein, durch die ein Unternehmen nachhaltig lern- und wandlungsfähig den marktseitigen Anforderungen begegnen kann.



Industrie 4.0 im Werkzeugbau

Industrie 4.0-Anwendungen heben insbesondere in der Einzel- und Kleinserienfertigung, zu der ebenfalls der Werkzeugbau zählt, zahlreiche Potenziale in der Leistungserstellung sowie dem Leistungsangebot. Die in der heutigen Zeit stark verkürzten Produktlebenszyklen in den zentralen Abnehmerbranchen, bei deren Time-to market der Werkzeugbau konstant auf dem zeitkritischen Pfad steht, erlauben kaum Terminverschiebungen und erfordern Werkzeuge stets in der geforderten Qualität und zur „richtigen Zeit am richtigen Ort“. Die Möglichkeiten von Industrie 4.0-Anwendungen schaffen hierzu die Voraussetzungen einer hochauflösenden Planung und transparenten Auftragsabwicklung im Werkzeugbau, die eine Automatisierung der „Losgröße 1“ erlauben. Darüber hinaus steht der Werkzeugbau heute zunehmend in einem aggressiven und internationalen Wettbewerbsumfeld. Konkurrernde Unternehmen aus Ländern mit geringeren Faktorkosten erhöhen bei stetig ansteigender Qualität der Werkzeuge den Kostendruck auf deutsche Werkzeugbaubetriebe und erschweren eine Differenzierung im internationalen Wettbewerb durch die Qualität der Werkzeuge. Die aktuellen marktseitigen Herausforderungen des Werkzeugbaus führen dazu, dass sich die Branche durch eine Neuausrichtung des bestehenden Leistungsangebots im Markt repositionieren muss. Ein Paradigmenwechsel von einer Produkt- zur Nutzenführerschaft, der den Kundennutzen der produzierenden Industrie in den Fokus des Leistungsangebots rückt, muss vollzogen werden. In diesem Zusammenhang steht nicht mehr das Werkzeug als zentrales Produkt im Fokus, vielmehr müssen mehrwertgenerierende Lösungen im Vordergrund der Geschäftstätigkeit stehen. Die Nutzung der durch den Digitalen Schatten generierten Daten eines Werkzeugs sowie des bereits im Werkzeugbau bestehenden Wissens über Produkte und Prozesse beim Kunden in Verbindung mit den Möglichkeiten von Data Mining Algorithmen ermöglichen weitreichende Potenziale für

den Werkzeugbau. Der Werkzeugbau kann durch diese Wissensbasis sein Leistungsportfolio verstärkt kundenspezifisch auslegen und sich dadurch noch weiter in die Prozesse des Kunden integrieren. Im Ergebnis erhöht sich dadurch maßgeblich die Kundenabhängigkeit.

Die Ergebnisse der Analyse zum Status quo im Werkzeugbau im Hinblick auf die Realisierung der Industrie 4.0-Potenziale in der Branche zeigen, dass die Bedeutung von innovativen Technologien erkannt worden ist. So schätzen aktuell 92 % der Werkzeugbaubetriebe die Bedeutung von Industrie 4.0 als hoch ein. Um dieser Bedeutung gerecht zu werden, investiert die Branche verstärkt in Projekte zur Realisierung von Industrie 4.0-Anwendungen. Das letztjährige, durchschnittliche Investitionsvolumen von 114.781€ in Industrie 4.0-Technologien plant die Hälfte der Unternehmen zukünftig um durchschnittlich 81.262 € pro Jahr zu erhöhen. Aktuell stuften 70 % der Unternehmen den Implementierungsgrad von Industrie 4.0 im Werkzeugbau nur unterdurchschnittlich im Vergleich zu anderen Branchen ein. So verfügen beispielsweise aktuell nur 23 % der Unternehmen über einen Verantwortlichen für die Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen. Darüber hinaus versäumen 38 % der Betriebe, eine Umsetzung von Industrie 4.0 durch interne Arbeitskreise oder -gruppen zu thematisieren und die Implementierung systematisch zu forcieren. Im Ergebnis wird deutlich, dass der Branche Werkzeugbau die Bedeutung sowie die Potenziale von Industrie 4.0-Anwendungen bewusst sind, jedoch eine systematische Vorgehensweise zur Implementierung dieser nicht vorhanden ist. Hierzu sollen im Folgenden die für den Werkzeugbau zentralen Handlungsfelder zur Realisierung der Industrie 4.0-Potenziale abgeleitet werden, in denen sowohl eine Berücksichtigung der Effekte auf die Leistungserstellung als auch die Auftragsabwicklung im Werkzeugbau stattfindet.



114.781 €
beträgt aktuell das
jährliche Investitions-
volumen von Werkzeug-
baubetrieben in
Industrie 4.0-
Anwendungen



interview
research
brainstorm
group
individual

- customer
- trend
- marketing

BOSS



order

inspiration

HR-employee



- ideas
- product

train



new trendy



- team A
- product



- team B
- product B
- service



SW 1H
how to used.



Handlungsfeld Smart Organization

Der Werkzeugbau profitiert maßgeblich von dem Wissen der Mitarbeiter in der Organisation über Produkte und Werkzeuge sowie deren Einsatz in der Serienproduktion. Dieses Wissen befindet sich häufig ausschließlich in den Köpfen einzelner Mitarbeiter und ist somit weder systematisch gespeichert noch allen uneingeschränkt zugänglich. Im Kontext von Industrie 4.0 gewinnen Wissen und Lernen noch stärker an Bedeutung. Demnach bieten die großen und nicht gefilterten Datenmengen aus allen Bereichen des Auftragsabwicklungsprozesses sowie der Kundenprozesse durch die Vernetzung unterschiedlicher Systeme, Maschinen, Produkte und Menschen eine neue Quelle des Wissens. Werkzeugbaubetriebe müssen sich dieser neuen Herausforderung

stellen und stärker die Themen Wissen und Lernen in den organisatorischen Strukturen verankern. Bei 62 % aller Unternehmen findet bereits eine Integration und Thematisierung von Industrie 4.0-Fragestellungen in regelmäßigen Arbeitskreisen statt. Der Bedarf zur Weiterentwicklung bzw. Veränderung der Organisationsstruktur selbst wird jedoch nicht erkannt und als notwendig erachtet. Es mangelt folglich an einer detaillierten Auseinandersetzung mit den Herausforderungen und Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die eigene Unternehmensorganisation. In dieser begründet sich das Handlungsfeld der Smart Organization, welches die Themengebiete Wissensmanagement, Lernprozesse, interne und externe Kollaboration sowie Kultur adressiert.

[Lernende Organisationsstrukturen im Werkzeugbau sichern die kontinuierliche Weiterentwicklung.]

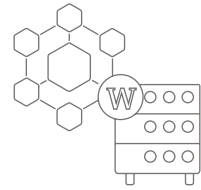
An die Organisation eines Werkzeugbaubetriebs ergeben sich insbesondere aufgrund des Unikatcharakters der Werkzeuge und des daraus resultierenden Herstellungsprozesses besondere Anforderungen. Lernen bedeutet eine Verhaltensveränderung auf Grund von Erfahrung. Die digitale Vernetzung cyber-physischer Unternehmen bedeutet im Werkzeugbau der Zukunft, dass diese Erfahrung datenbasiert erfolgen kann. Aufgabe einer sogenannten Smart Organization im Werkzeugbau ist es, innere und äußere Veränderungen zukünftig datenbasiert zu identifizieren und sich diesen agil anzupassen. Durch definierte unternehme-

rische Lern- und Wissensprozesse werden die daraus entwickelten Veränderungen dynamisch im Unternehmen verbreitet. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass sich sowohl die gesamte Unternehmensorganisation als auch jeder einzelne Mitarbeiter aktiv an die veränderten Rahmenbedingungen anpasst. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Status quo deutscher Werkzeugbaubetriebe in den zuvor beschriebenen Themengebieten des Handlungsfelds der Smart Organization. Der Readiness-Index zeigt zusammenfassend die Positionierung der Branche Werkzeugbau im Bereich der Smart Organization.

[Unternehmen haben die Bedeutung des Wissensmanagements erkannt.]

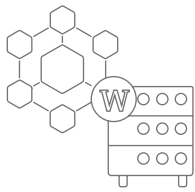
Deutsche Werkzeugbaubetriebe haben erkannt, dass Wissen als Ressource systematisch aufgenommen, gespeichert und für alle Mitarbeiter nutzbar gemacht werden

muss. In 30 % aller Unternehmen ist jedoch noch jeder Mitarbeiter selbst für das Management von Wissen zuständig. Jedes zehnte Unternehmen hat sogar gar keine



62 %

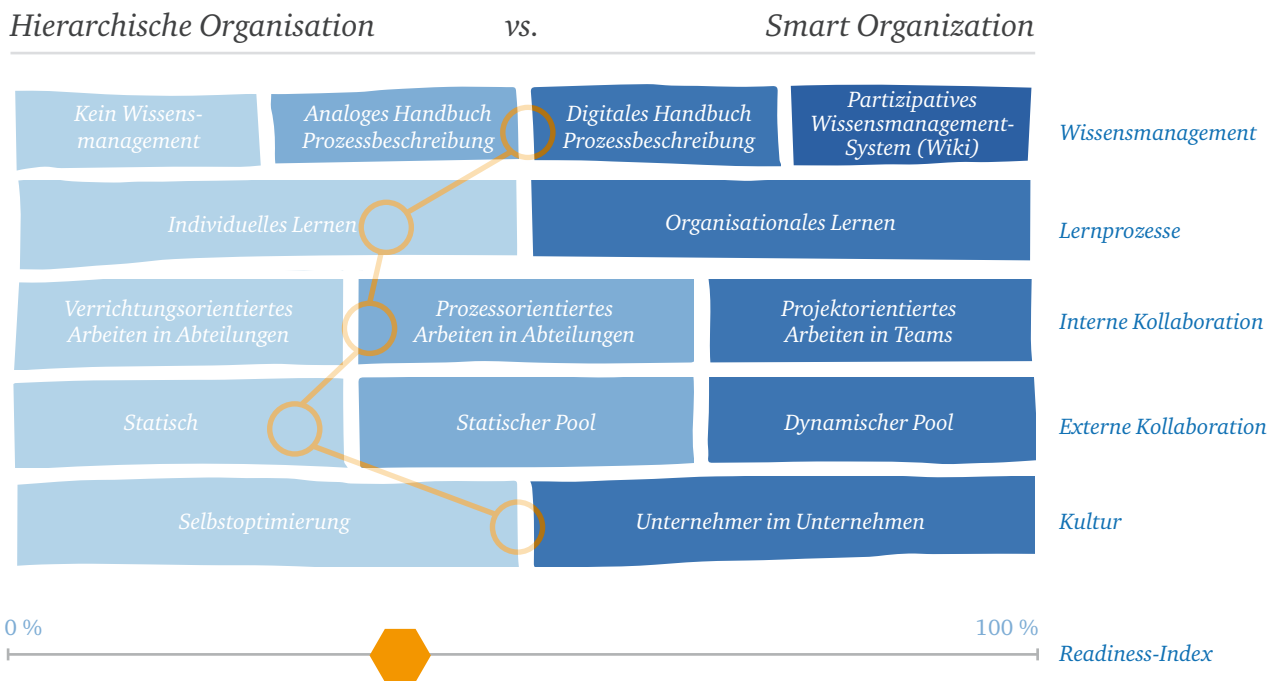
der Werkzeugbaubetriebe integrieren und thematisieren Industrie 4.0-Fragestellungen in regelmäßigen Arbeitskreisen



Verantwortlichkeit für ein systematisches Wissensmanagement definiert und bei 59 % der Unternehmen ist das Wissen in den Köpfen der Mitarbeiter verankert. Somit bleibt ein Großteil des Wissens in den Köpfen der Mitarbeiter und wird nur zufällig und un-systematisch mit anderen Mitarbeitern geteilt. Neben dem individuell erworbenen Wissen greifen Mitarbeiter aktuell auf analog bereitgestellte Handbücher und standardisierte Prozessbeschreibungen zurück. Analoge Handbücher und Prozessbeschreibungen sind jedoch statisch und weisen damit in Zeiten hoher Dynamik und zahlrei-

cher Veränderungen häufig keine Aktualität auf. Veränderungen und Verbesserungen in Prozessen und Abläufen können den Mitarbeitern unter diesen Umständen nur zeitverzögert zugänglich gemacht werden und ein kontinuierlicher Wissensaustausch wird dadurch erschwert. Folglich stehen aktuell zahlreiche Werkzeugbaubetriebe vor der Herausforderung, analoge Beschreibungen zu digitalisieren sowie zu vernetzen und langfristig in partizipative Wissensmanagementsysteme zu überführen, bei denen ein kontinuierlicher Austausch zwischen den Mitarbeitern stattfindet.

Readiness-Index Werkzeugbau Smart Organization



[Im Werkzeugbau wird zwar individuell gelernt – aber noch nicht organisational.]

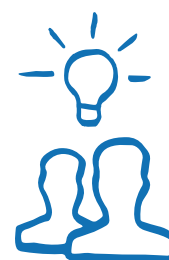
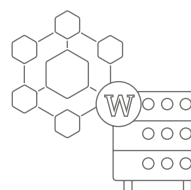
Das organisationale Lernen ist in der gesamten Branche noch nicht etabliert. Durch den mangelnden Einsatz von Wissensmanagementsystemen ist das Wissen des Un-

ternehmens häufig in den Köpfen einzelner Mitarbeiter verankert. Eine Weiterentwicklung oder Verbesserung wird durch die nicht vorhandene Dokumentation von Wis-

sen erschwert. Ein Abgang oder Ausfall des Mitarbeiters führt somit automatisch dazu, dass das durch diesen verwaltete Wissen dem Werkzeugbau kurz- oder langfristig nicht mehr zur Verfügung steht. Das Ziel von Werkzeugbaubetrieben muss es sein, das zuvor beschriebene systematische Wissensmanagement um eine Komponente des organisationalen Lernens zu erweitern. Dadurch kann die Handlungs- und Problemlösungskompetenzen der Gesamtorganisation erhöht werden. Bestehende Wissensmanagementsysteme müssen hierzu flexibilisiert und die Editierung der Inhalte allen Mitarbeitern ermöglicht werden. Beispielhaft eignen sich Wiki-Systeme für eine partizipative Entwicklung der Wissensbasis. Zudem las-

sen sich neben Wiki-Systemen zusätzliche Kommunikationsplattformen zwischen Mitarbeitern implementieren, die in Analogie zu Kurznachrichtendiensten die Mitteilung wichtiger Informationen an alle relevanten Mitarbeiter ermöglichen.

Durch die Weitergabe und den gegenseitigen Zugang zum Wissen der Mitarbeiter können neue Produkt- oder Prozessinnovationen entstehen und somit die Weiterentwicklung der gesamten Organisation realisiert werden. Zusätzlich gilt es, jeden einzelnen Mitarbeiter dafür zu motivieren, externes Wissen beispielsweise durch Kollaborationen mit externen Partnern der organisationalen Wissensbasis zuzuführen.



[Projektorientierung statt Hierarchiedenken – dies ist der Arbeitsmodus der Zukunft.]

Das Arbeiten in Werkzeugbaubetrieben ist geprägt von klassischen, hierarchischen Strukturen und einem starren Abteilungsdenken. Ein Austausch zwischen einzelnen Abteilungen gestaltet sich wenig flexibel und ist zumeist der Prozesskette folgend bei der Übergabe von Arbeitspaketen ausgelegt. So beschränkt sich die interne Kollaboration häufig auf Regelmeetings oder die Mittagspause. Die Vorteile hoher Eigenverantwortlichkeit und schneller Entscheidungsfähigkeit, befähigt durch flache Hierarchien und netzwerkartige Strukturen, sind im Werkzeugbau kaum zu finden. Die Organisationsstrukturen im Werkzeugbau sind häufig verrichtungsorientiert ausgelegt, so dass nicht die Erreichung des Ge-

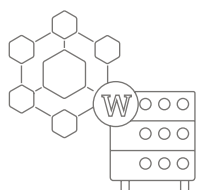
samtoptimums, sondern vielmehr die Erfüllung der eigenen Pflichtaufgaben innerhalb einer Abteilung für den Leistungserstellungsprozess fokussiert wird. Dadurch ergeben sich zahlreiche Optimierungsschleifen, die bei einer projektorientierten Arbeitsorganisation in Teams durch kurze Kommunikationswege und synchronisierte Schnittstellen vermieden werden. Die projektorientierte Arbeitsorganisation stellt durch eine interdisziplinäre Zusammensetzung der Teams hingegen eine schnelle und erfolgreiche Projektbearbeitung sicher. Das erlangte Wissen lässt sich im Nachgang aus der Projekt- in die Organisationsstruktur überführen und befähigt damit den Lernprozess weiterer Mitarbeiter.

59 %
aller Unternehmen
geben an, dass das
Wissen in den Köpfen
der Mitarbeiter
verankert ist

[Statische Kollaborationen mit Wertschöpfungspartnern weichen langsam der Dynamik.]

In der Wertschöpfungsgestaltung agieren deutsche Werkzeugbaubetriebe häufig noch klassisch: Die Kollaboration mit Kunden

und Wertschöpfungspartnern ist charakterisiert durch langfristige Partnerschaften, bei denen kaum Partner aus für Industrie



11 %
der Mitarbeiter im
Werkzeugbau haben
Führungs-
verantwortung

4.0-Anwendungen erforderlichen Branchen stammen. Die Auswahl der Partner erfolgt nicht auftragsspezifisch, sondern auf Basis eines übergeordneten, mehrere Jahre existierenden Anforderungsprofils. Folglich entsteht ein statisches Kollaborationsnetzwerk, in dem kaum Anpassungen oder Veränderungen stattfinden. Das Ziel sollte hingegen sein, kontinuierlich und systematisch neue Partner zu integrieren, die anforderungsgerecht dem aktuellen Wertschöpfungsbedarf kompetenz- und kapazitätsbasiert entsprechen. Die entsprechende

Auswahl, Überprüfung und Entwicklung von Wertschöpfungspartnern sollte entsprechend datengestützt erfolgen. Dies lässt eine objektive Bewertung von Wertschöpfungspartnern zu und ermöglicht die kontinuierliche Entwicklung des Partner-Pools. Zudem lassen sich in einem dynamischen Partner-Netzwerk auch zukünftig notwendige Kompetenzen integrieren. Beispielsweise ist hier der Bereich der Advanced Data Analytics zu nennen, dem 92 % der Werkzeugbaubetriebe eine zukünftig hohe Bedeutung zuordnen.

[Der Weg zur Gesamt- und raus aus der Selbstoptimierung ist lang.]

Die Bedeutung einer ausgeprägten Unternehmenskultur ist deutschen Werkzeugbaubetrieben bewusst. Insbesondere die Mitarbeiterführung und -verantwortung haben einen kontinuierlich hohen Stellenwert in der Organisationsstruktur. Es zeigt sich, dass im Durchschnitt 11 % aller Mitarbeiter im Werkzeugbau Führungsverantwortung haben. Im Allgemeinen übernehmen Mitarbeiter im Werkzeugbau Verantwortung in der Durchführung ihrer Tätigkeiten, um die durchschnittlich hohe Führungsverantwortung von zehn Mitarbeitern pro Führungskraft realisieren zu können. Die Eigenverantwortlichkeit ist aktuell jedoch primär auf den eigenen Arbeitsplatz fokussiert, wodurch die Mitarbeiter eine Selbstoptimierung der eigenen Arbeitsumgebung durchführen. Vorschläge zur Optimierung anderer Unternehmensbereiche und die Kultur des unternehmerischen Denkens bei Mitarbeitern, bei der diese stets den Kundennutzen sowie den ganzheitlichen Unternehmenserfolg fokussieren, sind aktuell jedoch nicht verankert. So werden die vorgegebenen Handlungsanweisungen von den Mitarbeitern selten hinterfragt oder angezweifelt, so dass Lerneffekte meist verspätet auftreten. Um die Entwicklung von der klassischen Selbstoptimierung zum „Unternehmer im Unternehmen“ erfolgreich durchführen zu können, sind Werkzeugbaubetriebe an-

gehalten, das hohe Pflichtbewusstsein der Mitarbeiter weiter zu stärken und diese in Entscheidungsprozesse stärker mit einzubeziehen. Hierzu müssen Mitarbeiter zunächst intensiver über aktuelle Entwicklungen, die über den eigenen Arbeitsplatz hinausgehen, informiert werden. Digitale Shopfloorboards, die echtzeitnah Veränderungen abbilden, bieten eine ideale Möglichkeit, den Informationsfluss effizienter zu gestalten. Aufbauend darauf muss jedoch auch eine Unternehmenskultur von den Führungskräften vorgelebt werden, die Verbesserungsvorschläge und Ideen der Mitarbeiter aufnimmt und implementiert. Auf diese Weise wird ein gemeinsamer übergeordneter Nutzen der Mitarbeiter und des Unternehmens definiert, der mögliche Zielkonflikte beseitigt und die Implementierung von interbetrieblichem Entrepreneurship ermöglicht. Dies kann insbesondere bei jungen Mitarbeitern durch den Einsatz moderner IT- bzw. Industrie 4.0-Lösungen gelingen. Im Allgemeinen sind jedoch alle Mitarbeiter für die Entwicklung von Lösungen für die gesamte Organisationsstruktur mittels Anreizsystemen zu motivieren. Dies lässt sich beispielsweise durch die Bereitstellung von Arbeitszeit realisieren, in der die Mitarbeiter von Projektarbeit befreit werden, um an innovativen Leistungen für den Kunden oder innovativen Fertigungskonzepten im Werkzeugbau zu arbeiten.

Handlungsempfehlungen

Der Status quo in den einzelnen Bereichen des Handlungsfelds der Smart Organization hat aufgezeigt, dass sich die Organisationsstrukturen im Werkzeugbau in Bezug auf die Lernprozesse, die Kollaboration sowie die Unternehmenskultur als hierarchische Organisationen beschreiben lassen. Lediglich im Bereich des Wissensmanagements wurden bereits erste Schritte zur Weiterentwicklung des Werkzeugbaus hin zu einer Smart Organization erfolgreich umgesetzt. Insgesamt ergibt sich ein vergleichsweise geringer Readiness-Index und damit ein großes Potenzial für Werkzeugbaubetriebe hin zu einer intelligenten, lernenden

Organisation. Dabei sind Informations- und Kommunikationstechnologien gezielt einzusetzen, um das in der Organisation vorhandene Wissen systematisch aufzunehmen und allen Mitarbeitern zugänglich zu machen. Zur Adressierung der zuvor aufgezeigten Potenziale ergeben sich für Werkzeugbaubetriebe drei zentrale Handlungsfelder, die durch den Einsatz von Industrie 4.0-Lösungen erfolgreich adressiert und weiterentwickelt werden können. Die Handlungsempfehlungen thematisieren die Verantwortungskultur, die digitale Wissensbasis sowie dynamische Kollaborationsnetzwerke.



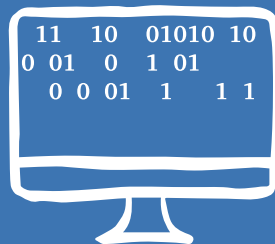
Verantwortungskultur



*Dynamische
Kollaborationsnetzwerke*



```
10 1010 0 10 1 01  
0101 0111 0101  
000 0101 11 101
```



Digitale Wissensplattform

Verantwortlichkeitskultur



Während die Mitarbeiter im Werkzeugbau aktuell hauptsächlich ihren eigenen Aufgabenbereich sowie die eigenen Prozesse und Tätigkeiten optimieren, werden in einer Smart Organization auch vom Unternehmen oder Führungskräften vorgegebene, starre Handlungsweisen hinterfragt. Das Ziel dieser Unternehmenskultur ist es, den einzelnen Mitarbeiter von einem passiven, die Handlungsanweisungen befolgenden Mitarbeiter zu einem aktiven und agierenden „Unternehmer im Unternehmen“ zu entwickeln. Eine aktive Mitarbeit und Weiterentwicklung von Prozessen ist größtenteils abhängig von der Eigenmotivation des einzelnen Mitarbeiters sowie der durch die Führungskräfte vorgelebten Unternehmenskultur. Die Förderung dieser Unternehmenskultur kann nachhaltig durch die Flexibilisierung von Arbeitszeit und -platz die Kreativität und den Gestaltungswillen einzelner Mitarbeiter fördern. Die Bereitstellung von monatlich definierter Arbeitszeit zur Erforschung neuer Produkt- oder Fertigungskonzepte stellt eine vielversprechende Möglichkeit zur Realisierung dessen dar. Auf diese Weise lösen sich Mitarbeiter von ihren täglichen operativen Aufgaben und können in interdisziplinären Teams neue Lösungen erarbeiten.

Durch den gezielten Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien lässt sich dieser Effekt weiter verstärken, indem den Mitarbeitern Kommunikations- und Arbeitsplattformen auf mobilen Endgeräten zur Verfügung gestellt werden, die Arbeitsformen und den interaktiven Austausch ohne das physische Zusammentreffen der Mitarbeiter ermöglichen. Ein ortsunabhängiger Zugriff auf vorhandene Datenbankstrukturen stellt hierbei sicher, dass Lösungen auf einer gemeinsamen Datenbasis ausgearbeitet werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Verantwortlichkeitskultur besteht in der durchgängigen Vernetzung aller Mitarbeiter und Maschinen einer Technologie durch mobile Endgeräte. Gekoppelt an flexible Arbeitszeitmodelle, in denen die Leistung, in diesem Fall die produktive Laufzeit der Maschine, entlohnt wird und nicht die Anwesenheit der Mitarbeiter am Arbeitsplatz, unterstützt dies. Mit einer ganzheitlichen Vernetzung über alle Abteilungen eines Werkzeugbaubetriebs hinweg ist es hiermit denkbar, dass der Werkzeugmacher zu einem selbstständigen Projektmanager wird, der eigenständig gesamte Werkzeugprojekte aus der Ferne koordiniert.

Digitale Wissensplattform



```
10 1010 0 10 1 01
0101 0111 0101
000 0101 11 101
```



Das Ziel von Werkzeugbaubetrieben muss es zukünftig sein, die Ressource Wissen digital und kollaborativ zu managen, sodass diese der gesamten Organisationsstruktur zur Verfügung gestellt werden kann. Ein digitaler, allgemein zugänglicher Ort der Wissensspeicherung ermöglicht, das Wissen einzelner Mitarbeiter zu organisationalem Wissen zu verknüpfen. Diese Anforderungen lassen sich durch eine unternehmensweite Wissensplattform abbilden. Die Grundlage für den Aufbau einer digitalen Wissensbasis ist der kontinuierliche Zufluss von wertvollen Informationen, die entweder digital vorliegen oder aus analogen Daten zu digitalisieren

sind. Gleichzeitig sind unternehmensexterne Datenquellen wie Zeitschriften, Fachvorträge, Artikel sowie externe Datenbanken und Webinare aber auch das Wissen von Universitäten, Forschungseinrichtungen und Partnern zu integrieren. Externe Quellen unterstützen insbesondere den Blick über die unternehmensinternen Grenzen hinweg und die Aufnahme neuer externer Impulse. Ein weiterer wertvoller Wissensaufnahmekanal besteht in der Aufnahme, Speicherung und Auswertung intern erzeugter Daten während des Auftragsabwicklungsprozesses sowie deren dynamischer Darstellung in der Wissensplattform. Zur Erfüllung dessen zeigt

der Werkzeugbau insbesondere Handlungsbedarf in den Bereichen der Datenaufnahme und -analyse. Zur Darstellung und Verteilung des relevanten Wissens bietet sich das Wiki-Prinzip an, das im Gegensatz zu analogen oder elektronischen Datenbanken ein vernetztes Hypertextsystem eines digitalen Netzwerks darstellt. Hierbei werden die Inhalte zentral gespeichert, sind aber dezentral von unterschiedlichen Nutzern jederzeit aufrufbar und bearbeitbar. Das System vernetzt damit alle Mitarbeiter entlang der gesamten Wertschöpfungskette und lässt diese aktiv am Wissen partizipieren.

Neben den Wiki-Systemen, die die Wissensgenerierung auf Suchanfrage durch die Mitarbeiter ermöglichen, bieten sich zusätzlich dynamische und interaktive Arbeitsplattformen an, die alle am Werkzeugherstellungsprozess beteiligten Bereiche vom Vertrieb über die direkt wertschöpfenden Bereiche wie Konstruktion, Fertigung und Montage bis hin zum Einkauf miteinander vernetzen. Dabei soll das vorhandene Wissen der einzelnen Mitarbeiter projektorientiert entlang der gesamten Wertschöpfungskette verknüpft werden, um es zu konkreten Problemlösungen in

der Projektbearbeitung zu nutzen. Konkret müssen Mitarbeiter zeit- und ortsunabhängig über Smartphones, Tablets und Computer auf die Plattform zugreifen können und durch einen interdisziplinären Austausch Aufgaben und Probleme gemeinsam lösen können. Möglich wird dies beispielsweise, indem ihnen ein direkter Kommunikationskanal mit einem Video-Link sowie ein gemeinsamer Datenstand zur Verfügung gestellt wird, der eine parallele Bearbeitung von Dokumenten ermöglicht. Ein konkreter Anwendungsfall lässt sich für die Lösungsfindung bei notwendigen Werkzeugoptimierungen nach dem Try-out identifizieren, wenn Mitarbeiter aus der Konstruktion, der Fertigung und der Montage ihre Kompetenzen über eine datenbasierte Plattform einbringen können, ohne physisch an der Try-Out Maschine anwesend zu sein. In der weiteren Ausarbeitungsstufe lässt sich ebenfalls der Kunde integrieren, der seine Anforderungen unmittelbar in den Optimierungsprozess einbringen kann und durch einen effizienten Kommunikationsprozess die gewünschte Werkzeugreife schneller erreicht werden kann.

Dynamische Kollaborationsnetzwerke



Die Entwicklung von dynamischen Kollaborationsnetzwerken verfolgt die Aufgabe, die meist starren und auf Kontinuität ausgelegten Partnerstrukturen von Werkzeugbaubetrieben zu flexibilisieren. Die Kollaborationsnetzwerke adressieren primär die Zusammenarbeit mit externen Entitäten und sollen eine Zusammenstellung von projektabhängigen Kollaborationsnetzwerken in Abhängigkeit der Kapazitäten und Kompetenzen der jeweiligen Kollaborationspartner ermöglichen. Bildlich stellt das Kollaborationsnetzwerk demnach einen durch den Werkzeugbau betriebenen virtuellen Markt dar, auf dem potenzielle Kollaborationspartner des Werkzeugbaus ihre dynamischen Kapazitäten und fachspezifischen Kompetenzen anbieten, die der Werkzeugbau bei Bedarf in Anspruch nehmen kann. Zur Entwicklung eines dynamischen Kollaborationsnetzwerks ist eine

digitale Infrastruktur zur direkten Vernetzung der Entitäten erforderlich. Bei der Zusammenstellung einer solchen Plattform ist unter Berücksichtigung der strategischen Ausrichtung des Werkzeugbaubetriebs im Hinblick auf das Leistungsportfolio die Interdisziplinarität der Gemeinschaft unabhängig von räumlicher Nähe zu wahren. Demnach erfordert die datenbasierte Veredelung des Leistungsportfolios von Werkzeugbaubetrieben sowie die intensive Nutzung der durch den Digitalen Schatten erzeugten Daten die Integration von u. a. Advanced Data Analytics oder Cloud Computing Experten. Ein Aspekt, der insbesondere bei der Integration externer Partner zu berücksichtigen ist, ist die Datensicherheit und der Know-how-Schutz. Zur Bewältigung dieses Aspekts lassen sich Experten integrieren, die eine Sicherheit gleichermaßen für alle Entitäten gewährleisten.

Sprint 42

In progress | Done

Coding
Finance
module

Exploratory
testing
"op"

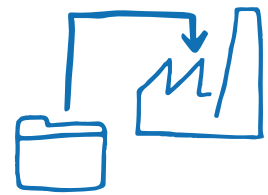
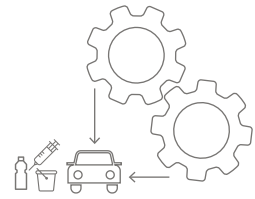
Coding
error handling
of printers

Interview
core
users

Handlungsfeld Smart Innovation

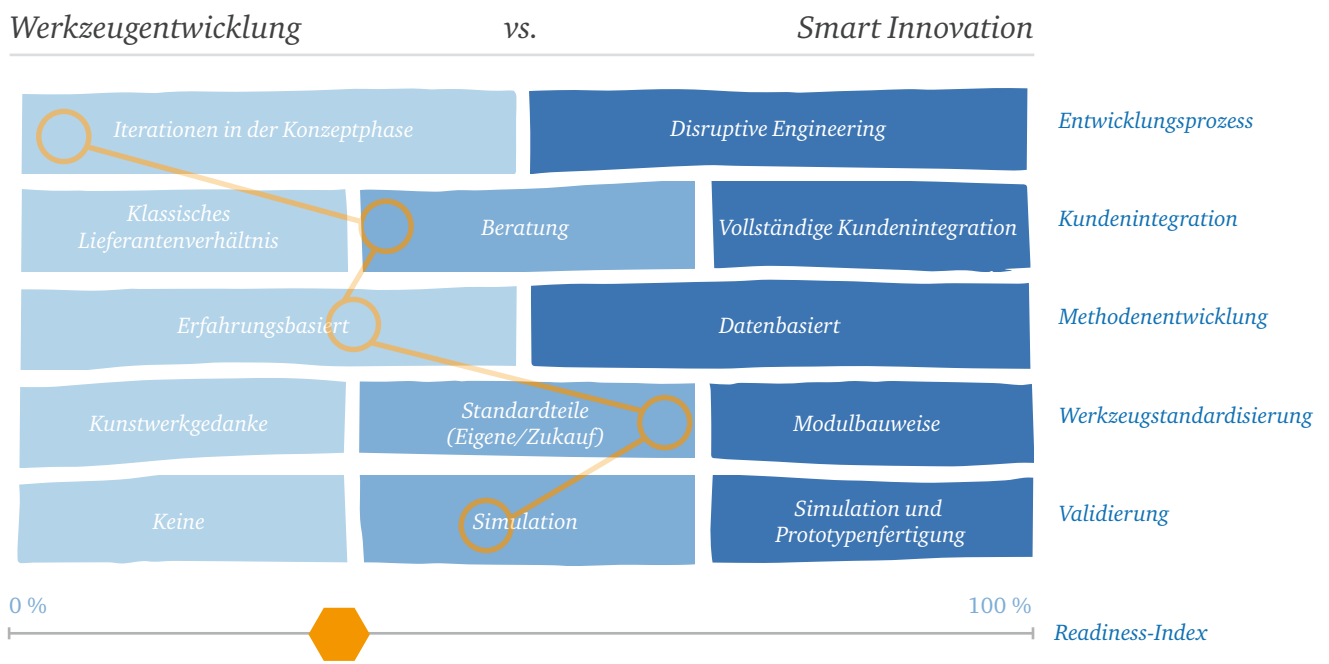
Die in den vergangenen Jahren zu beobachtende Verkürzung der Produktlebenszyklen in den zentralen Abnehmerbranchen des Werkzeugbaus wirkt sich direkt auf den Werkzeugbau als Produktionsbefähiger aus, dessen Werkzeugbereitstellung maßgeblich den Erfolg eines Produktionsstarts beeinflusst. Um der Industrie trotz komplexer Produktentwicklungsphasen mit häufigen Konzept- und Designänderungen bis in die späten Entwicklungsphasen hinein einen stabilen Produktionsstart zu ermöglichen, muss sich der Werkzeugbau bereits in die sehr frühe Phase der Produktentwicklung integrieren. Hierzu schätzen 77 % der Werkzeugbaubetriebe die Bereitschaft ihrer Kunden zur Datenweitergabe in der Produktentwicklung als hoch an. Sogar 92 % der Unternehmen bewerten die Bereitschaft ihrer Kunden zur Datenweitergabe als hoch, falls die Werkzeugkosten durch die optimale Bauteilgestaltung gesenkt wer-

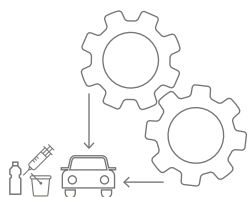
den. Demnach sind kundenseitig die Voraussetzungen zur stärkeren Einbindung des Werkzeugbaus in die Produktentwicklung gegeben. Diese gilt es durch den Werkzeugbau zu adressieren. Die hierzu notwendigen Konzepte werden im Feld der Smart Innovation diskutiert. Die Veränderung des bisher existierenden Werkzeugentwicklungsprozesses zur Smart Innovation muss unter Berücksichtigung unterschiedlicher Dimensionen erfolgen. Diese sind der Entwicklungsprozess, der Grad der Kundeningetration, die Art der Methodenentwicklung sowie der Grad der Werkzeugstandardisierung und die Art der Validierung. Die Einordnung und Bewertung der Branche Werkzeugbau in den einzelnen Dimensionen wird in der nachfolgenden Abbildung vorgenommen. Der Readiness-Index nimmt eine ganzheitliche Bewertung des Werkzeugbaus im Handlungsfeld der Smart Innovation vor.



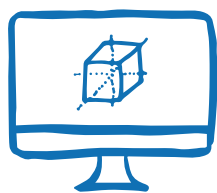
77 %
der Werkzeugbaukunden sind in Zukunft bereit, Daten früher und in stärkerem Umfang in der Produktentwicklung zur Verfügung zu stellen

Readiness-Index Werkzeugbau Smart Innovation





[Kurze Entwicklungszyklen und die schnelle Verfügbarkeit erster Prototypen sind zukünftig die Erfolgsfaktoren.]



43 %
der Werkzeugbaubetriebe bieten Services in der Produktentwicklung des Kunden an

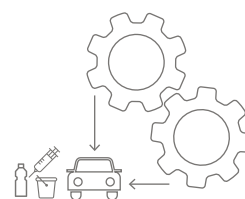
Der zur Realisierung von Zeit- und Kostenvorteilen zukünftig notwendige Smart Innovation Ansatz sieht eine vollständige vorgelagerte Zusammenarbeit mit der Produktentwicklung des Kunden vor, bei der mit dem Kunden gemeinsam Produktlösungen entwickelt werden. Dabei werden kurzfristige Kundenänderungen über die Konzeptphase hinaus auch in fortgeschrittenen Phasen der Produktentwicklung zugelassen und in kurzer Reaktionszeit im Sinne des „Disruptive Engineerings“ realisiert. Hierbei wird angestrebt, in möglichst kurzen Intervallen Prototypen zu entwerfen und iterativ anhand dieser das optimale Produktdesign festzulegen. Der heutige Werkzeugbau ist weitestgehend noch immer gemäß des klassischen Verständnisses als Lieferant in die Wertschöpfungskette der Serienproduktion integriert. Dabei kommt dem Werkzeugbau ausschließlich die Rolle zu, das angefragte Werkzeug in der erforderlichen Qualität und zum vereinbarten Liefertermin an den Kunden zu übergeben. Lediglich 43 % der Werkzeugbaubetriebe bieten Services in den Produktentwicklungsprozessen des Kunden an. Häufig existieren diese Angebote auch lediglich formell und werden weder vom Kunden noch vom Werkzeugbau als vollwertiger Bestandteil des Leistungsportfolios wahrgenommen. Folglich werden Iterationen in der Produktentwicklung nur in frühen Phasen zugelassen und führen andernfalls zu starken Verzögerungen in der Werkzeugentwicklung, was sich häufig negativ auf den Produktionsanlauf des Kunden auswirkt. So werden in der Branche durchschnittlich 25 % der Werkzeuge zu spät an den Kunden ausgeliefert, in immerhin 9 % der Fälle treten auch nach der zweiten Bemusterung noch Probleme mit fehlerhafter Funktionalität oder unzureichender Qualität auf. Der in der heutigen Zeit gängige

Prozess sieht vor, dass der Werkzeugbau nach Abschluss der Produktentwicklung die für das Werkzeugdesign notwendigen Produktdaten erhält und auf Basis dieser mit der Werkzeugkonstruktion beginnt. Nicht zu realisierende Radien, Oberflächen oder Materialstärken meldet er in dieser Zeit an den Kunden zurück, der das Produkt dementsprechend nachbessern kann. Das Wissen, über das der Werkzeugbau hinsichtlich fertigungsgerechter Auslegung von Bauteilen verfügt, wird somit erst sehr spät im Produktentwicklungsprozess angewendet. Häufig hat dies nachfolgend die Auswirkung, dass sich der Produktionsstart des Kunden verzögert. Die Verwertung des auf Werkzeugaubeseite vorhandenen Wissens hinsichtlich der Realisierung möglicher Kosteneinsparpotenziale durch ein Bauteildesign, das geringere Werkzeugkosten und weniger eine höhere Produktivität zur Folge hat, wird dem Kunden nicht systematisch angeboten. Zahlreiche Werkzeugbaubetriebe stellen diese Leistung hingegen als kostenlose Zusatzleistung neben dem Werkzeug zur Verfügung.

Die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Datenanalyse und -verwendung befähigen die systematische Verwertung von Kundendaten sowie Daten vergangener Werkzeugprojekte, um innovationsfördernd das Produktdesign mitzugestalten oder konkrete Machbarkeitsstudien zur Optimierung der in der Entwicklung beeinflussbaren Prozessleistungsfähigkeit beim Kunden durchzuführen. Advanced Data Analytics ermöglichen die Datenauswertung mit dem Ziel, datenbasierte Vorhersagen zu treffen. Dafür werden Daten auf Muster untersucht, um Rückschlüsse auf Ursachen und Zusammenhänge ziehen zu können. Das Vorgehen der Advanced Data Analytics basiert auf einer Kombination von Algorithmen aus der Statistik, dem Data

Mining sowie dem maschinellen Lernen (eng. „Machine learning“), das sich aus mathematischen Modellen und Methoden zusammensetzt. Auf diese Weise können Daten auf Basis der Kundenprodukte, der gesamten Prozesskette des Werkzeugbaus sowie den Daten aus dem Werkzeugeinsatz in der Serienproduktion des Kunden für Advanced Data Analytics genutzt werden, um sowohl Produkte des Kunden schneller und effizienter zu bewerten als auch eine vereinfachte Werkzeugentwicklung realisieren zu können. Die Cloud-Lösung stellt die im Zuge der Advanced Data Analytics

gewonnenen Daten ortsungebunden zur Verfügung. In diesem Zusammenhang bewerten 69 % der Werkzeugbaubetriebe das Potenzial und die Bedeutung von Daten über die Produktentwicklung des Kunden als hoch. Trotz dessen zeigt sich ein Widerspruch bei der Anzahl der Unternehmen, die im Ergebnis in der Bauteilentwicklung oder –optimierung beratend tätig sind. Auch wenn vereinzelt Services angeboten werden, findet demnach eine vollständige Kundenintegration mit einer kontinuierlichen Begleitung durch den Werkzeugbau nach wie vor nicht statt.



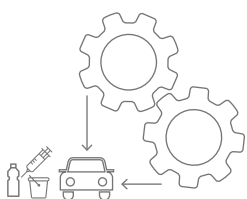
[Daten sind das wertvollste Rohmaterial des 21. Jahrhunderts – auch für die Werkzeugentwicklung.]

In der klassischen Werkzeugentwicklung wird die Methodenentwicklung auf Basis von Erfahrungswerten der Entwickler im Werkzeugbau durchgeführt. Dabei wird häufig aufgrund mangelnder datenbasierter Systemunterstützung lediglich auf das Wissen des jeweiligen Mitarbeiters zurückgegriffen. Das im Rest des Unternehmens vorhandene Wissen aus vergangenen Projekten bleibt dabei außen vor. Der Ansatz der Smart Innovation sieht hingegen die Integration von Daten aus Vergangenheitsprojekten vor, um kundenspezifisch das optimale Werkzeugkonzept vor dem Hintergrund der Produkt- und Prozessanforderungen des Kunden zu entwickeln, ohne dabei vollständig vom individuellen Kenntnisstand des jeweiligen Entwicklers abhängig zu sein. Dies kann in einem ersten Schritt vor allem dadurch realisiert werden, dass Werkzeugprojekte in einer zentralen Datenbank gespeichert werden und durch die Definition bestimmter Kriterien (z. B. Kunde, Bauteil, Werkzeugart, etc.) über eine Suche auffindbar sind. In einer weiteren Ausbaustufe werden dem Werkzeugentwickler während der Werkzeugkonstruktion basierend auf Ähnlich-

keitsmerkmalen des Endprodukts Designvorschläge gemacht oder automatisiert Werkzeuggrobkonzepte erstellt. Zusätzlich ermöglicht es eine datenbasierte Erfahrungsberücksichtigung, auf auftretende Kundenanforderungen in der Produktentwicklung dynamisch und kostengünstig reagieren sowie befähigend auf das Disruptive Engineering einwirken zu können. Ein weiterer Mehrwert in Zeiten alternder Mitarbeiterstrukturen ist in der Wissensübertragung erfahrener Mitarbeiter auf nachfolgende Generationen zu sehen, die über die Nutzung definierter Datenbankstrukturen auf wertvolles Erfahrungswissen in der Know-how intensiven Werkzeugentwicklung zurückgreifen können. Die Branche Werkzeugbau erkennt vereinzelt vor dem Hintergrund der zunehmenden Produkt- und Prozesskomplexität auf Kundenseite sowie der alternden Mitarbeiterstrukturen den Bedarf, das Wissen aus Werkzeugprojekten in Projektdatenbanken zu speichern und für zukünftige Projekte zugänglich zu machen. 92 % der Werkzeugbaubetriebe bewerten daher die zukünftige Bedeutung von Daten zur Dokumentation von Verschleiß- und Ausfallursachen der Werk-



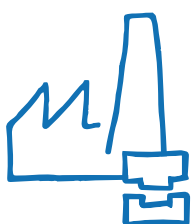
92 %
Der Werkzeugbaubetriebe bewerten die zukünftige Bedeutung der Aufnahme von Daten zu Verschleiß und Ausfallursachen für die Produktentwicklung als hoch



zeuge als hoch. Um diese bei neuen Werkzeugentwicklungen zu berücksichtigen. Branchenweit ist dennoch keine standar-

disierte datenbasierte Erfahrungsberücksichtigung vorhanden und stellt zukünftig einen Handlungsbedarf dar.

[Werkzeuge aus dem Baukasten vereinfachen die Entwicklung und erhöhen die Innovationsfähigkeit.]



32 %
der Unternehmen
verwenden Standard-
Werkzeugmodule

Zahlreiche deutsche Werkzeugbaubetriebe haben das Potenzial der Standardisierung im Werkzeugbau mittlerweile erkannt und sich vom lange Zeit vorherrschenden Kunstwerkgedanken gelöst, nach dem jedes Werkzeug ein Unikat darstellt und von Grund auf neu konstruiert werden muss. So setzen aktuell 74 % der Werkzeugbaubetriebe auf den Einsatz von Standard-Werkzeugkomponenten, die intern gefertigt werden oder bei denen es sich um externe Standardteile handelt. 56 % der Unternehmen haben hingegen Standard-Werkzeugtypen definiert, jedoch definieren nur 32 % der Unternehmen Standard-Werkzeugmodule, durch deren gezielte Kombination sich Neuwerkzeuge mit geringem Aufwand konstruieren lassen. Um jedoch der von Kundenseite geforderten Flexibilität bei konkurrenzfähigen Preisen gerecht zu werden, sind vordefi-

nierte Module in der Werkzeugfertigung anzustreben. Eine Modulbauweise als der höchste Grad der Werkzeugstandardisierung stellt ein hohes Entwicklungspotenzial für den deutschen Werkzeugbau dar. Dabei gilt es, alle modularisierbaren Komponenten von Werkzeugen zu identifizieren und in der Entwicklung lediglich formgebende Bauteile zu gestalten. Zum einen verursachen Kundenänderungen zum fortgeschrittenen Entwicklungszeitpunkt auf diese Weise nicht, dass der gesamte Entwicklungsprozess von Beginn an starten muss und zum anderen ermöglichen Standardmodule, dass sich der Entwickler stärker auf die wissensintensiven Teile der Konstruktion fokussieren kann und ihm Innovationen in den für das Produkt und den Prozess entscheidenden Bauteilen des Werkzeugs somit erleichtert werden.

[Eine frühzeitig realitätsnahe Werkzeugvalidierung verkürzt die Time-to-market.]

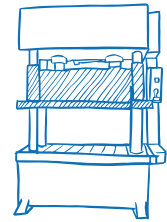
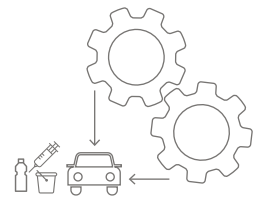
Die Funktionsfähigkeit von Werkzeugen im Serienprozess beim Kunden soll durch die Validierung des Werkzeugkonzepts sichergestellt werden, um zu vermeiden, dass mögliche Abweichungen vom Soll-Zustand erst nach der Inbetriebnahme des Werkzeugs identifiziert und notwendige Änderungen nur kostenintensiv vorgenommen werden können. In diesem Bereich haben Simulationsprogramme in den vergangenen Jahren bereits große Fortschritte gemacht und bilden den aktuellen Stand der Technik im deutschen Werkzeugbau ab.

So setzen 50 % der Werkzeugbaubetriebe Simulationen ein, um die Werkzeugfunktionalität vor Fertigungsbeginn sicherzustellen. Dennoch ist häufig zu beobachten, dass durchgeführte Simulationen nicht dem realen Prozess nach Inbetriebnahme des Werkzeugs entsprechen. Vielfach ist dies auf abweichende Ausführungen in der Fertigung zurückzuführen, die in der Entwicklung nicht abgebildet werden. Den wichtigsten Faktor stellt jedoch die Abweichung in der Funktionalität durch die Interaktion mit der Produktionsmaschine

und der Umwelt im Serienprozess beim Kunden dar, die aktuell nur unzureichend simuliert werden kann. Dementsprechend werden knapp 17 % der konstruktiven Änderungen am Werkzeug durch den Try-out beim Kunden hervorgerufen und kostenintensiv nachgebessert.

Eine vielversprechende Möglichkeit, das Verhalten des konstruierten Werkzeugs im realen Betrieb vorherzusehen, bieten die technologischen Entwicklungen zu generativen Fertigungsverfahren. So lassen sich neben dem späteren Produkt auch formgebende Einsätze des zu fertigenden Werkzeugs bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung als Prototypen drucken und ermöglichen dadurch eine realitätsnahe Konzeptvalidierung. Auf diese Weise wird das Verständnis für das Produkt erhöht und dem Werkzeugbau wird eine aktive Rolle bei der Optimierung des

Produktdesigns zugewiesen. Zudem kann der Werkzeugbau bereits Prototypenwerkzeuge während der Werkzeugentwicklung zur Verfügung stellen und dadurch den realen Prozess des Werkzeugs im Zusammenspiel mit der Produktionsmaschine zumindest für wenige Zyklen abbilden. Dies ermöglicht die Realisierung häufiger Entwicklungsschleifen im Sinne des iterativen Entwicklungsprozesses, bis das optimale Produktdesign und die optimale Werkzeugkonstruktion erreicht worden sind. Der deutsche Werkzeugbau setzt aktuell generative Fertigungsverfahren nur vereinzelt zur Ergänzung der klassischen Wertschöpfungskette ein. Die gezielte Technologieerweiterung um generative Fertigungsverfahren stellt daher ein enormes Potenzial zur Steigerung der Leistungsfähigkeit im Werkzeugentwicklungsprozess dar.



17 %
der notwendigen konstruktiven Änderungen am Werkzeug werden im Try-out identifiziert

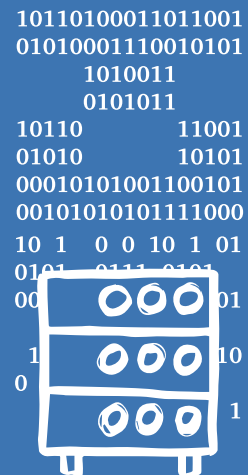
Handlungsempfehlungen

Die Analyse zum Status quo in der Branche hat gezeigt, dass der Werkzeugbau im Bereich der Smart Innovation Konzepte erst am Anfang einer neuen Entwicklung steht, an dessen Ende sich der Werkzeugbau weg von der traditionellen Werkzeugentwicklung hin zu einem vollständig in den Produktentwicklungsprozess integrierten Partner gewandelt hat. Insbesondere im Bereich der Methoden und Konzeptänderungen am Produkt und Werkzeug, in der

der Werkzeugbau traditionell stark von der Produktentwicklung des Kunden abhängig ist und sich dabei nach wie vor stark auf den Erfahrungsschatz der Mitarbeiter verlässt, bieten Industrie 4.0-Anwendungen zahlreiche Potenziale. Die drei zentralen Handlungsfelder resultieren aus den identifizierten Potenzialen und bestehen aus der vollständigen Kundenintegration, der datenbasierten Werkzeugentwicklung sowie dem Einsatz neuer Technologien.



Vollständige Kundenintegration



Datenbasierte Werkzeugentwicklung



Einsatz neuer Technologien

Vollständige Kundenintegration

Wie eingangs beschrieben erfordern immer komplexer werdende Produkte bei gleichzeitig kürzer werdenden Produktlebenszyklen eine frühzeitige und vollständige Integration des Werkzeugbaus in die frühen Phasen der Entwicklungsprozesse seiner Kunden, um ein fertigungsgerechtes Produktdesign sicherzustellen. Dazu gilt es für den Werkzeugbau, Iterationsschleifen zu ermöglichen und jeweils möglichst exakte Machbarkeitsstudien und Kostenkalkulationen durchzuführen. Um dies kostengünstig und unter geringem Zeitaufwand realisieren zu können, bedarf es dem Einsatz von Simulationswerkzeugen und der Prototypenfertigung von Werkzeugen und Produkten.

Dadurch kann u. a. die Anzahl der während des Try-outs notwendigen Optimierungsschleifen reduziert werden, da eine optimale Abstimmung zwischen dem Werkzeug, dem Methodenkonzept und

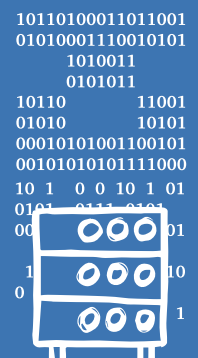
dem Produktdesign durch ein consequentes Frontloading erfolgt ist. Zudem erhöht der Werkzeugbau auf Kundenseite den Innovationsgrad von Produkten, da beispielsweise die Materialauswahl oder auch die Formgebung beeinflusst werden können. Weiterhin bietet die vollständige Kundenintegration auch kostenseitig Vorteile, da durch ein consequentes Frontloading bereits in den frühen Phasen des Werkzeugherstellungsprozesses das Werkzeugkonzept sowie die -methodik definiert worden sind und somit eine pünktliche Auslieferung des Werkzeugs und damit ein planmäßiger Produktionsstart des Kunden gewährleistet sind. Zur Realisierung der Potenziale einer vollständig vorgelagerten Kundenintegration muss der Werkzeugbau zunächst die eigene Wahrnehmung eines ausschließlichen Werkzeuglieferanten hin zu einem innovativen Lösungsanbieter für den Kunden verändern.



Datenbasierte Werkzeugentwicklung

In Zeiten sich stetig verkürzender Lebenszyklen, wachsender globaler Konkurrenz und einer alternden Mitarbeiterstruktur ist eine Beschränkung auf individuelles Erfahrungswissen insbesondere in der wissensintensiven Werkzeugkonstruktion nicht länger zeitgemäß. Um dem Kunden ein optimales Werkzeug in Bezug auf die Produkt- und Prozessanforderungen bereitzustellen, gilt es in Zukunft, auf das gesamte Wissen im Unternehmen sowie aus vergangenen Werkzeugprojekten zurückzugreifen. Hierzu bieten die Möglichkeiten von Data Analytics weitreichende Potenziale, mittels intelligenter Algorithmen standort- und zeitunabhängig alte Werkzeugprojekte schnell wiederzufinden und basierend auf Parametern des Kundenprodukts ein Werk-

zeuggrobkonzept sowie Methodenkonzept systemunterstützt zu erstellen. Dazu müssen Datenbanken geschaffen werden, die das im Werkzeugbau vorhandene Wissen innerhalb der Werkzeugentwicklung aufnehmen und bei Bedarf automatisiert in die Werkzeugentwicklung einspeisen können. Hierzu ist zunächst zu klären, welche Daten in Zukunft für Werkzeugprojekte Relevanz haben und inwiefern diese bereits im Unternehmen vorliegen. Sollen lediglich interne Daten, also Daten aus vorangegangenen Entwicklungs-, Fertigungs-, Montage- und Try-out Prozessen genutzt werden, muss an den jeweiligen Stellen eine systematische Dokumentation von Fehlern und Best-Practices implementiert werden. Des Weiteren müssen eingesetzte Standards do-



kumentiert und für den Einsatz in zukünftigen Werkzeugen verfügbar gemacht werden. Sollen hingegen auch Daten aus dem Lebenszyklus des Werkzeugs im Serienein-

satz aufgenommen werden, ist die digitale Veredelung der Werkzeuge notwendig zur Erzeugung eines Digitaler Schattens dieser.



Einsatz neuer Technologien

Das Angebot innovativer und kostengünstiger Lösungen, die stets den Kundennutzen fokussieren, erfordert den kontinuierlichen Einsatz neuer Technologien, mit denen ein zusätzlicher Mehrwert generiert werden kann. In diesem Zusammenhang bieten sich generative Fertigungsverfahren an, die eine frühe Erprobung von Werkstück und Werkzeug auf Basis von Prototypen ermöglichen. Mit einem früh verfügbaren und durch generative Fertigungsverfahren aufgebauten Bauteil erhält der Kunde vorzeitig einen Eindruck über das spätere Produkt. Der Kunde hat dadurch den Vorteil, Änderungen in der Haptik sowie Optik oder Funktion ohne größere Auswirkung-

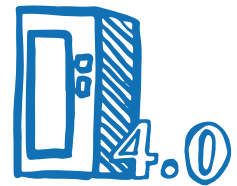
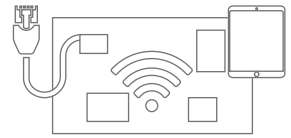
en vornehmen zu können. Für den Werkzeugbau erleichtert die frühe Produkt- und Werkzeugverfügbarkeit, dass Designänderungen bereits früh am Prototypen vorgenommen werden können und die Anzahl späterer Iterationen reduziert wird.

Der Aufbau von Kapazitäten im Bereich der additiven Fertigungsverfahren kann entweder durch den Zukauf und die Integration der Technologie in den Werkzeugbau oder durch die Nutzung der Kapazitäten externer Partner erfolgen. Diese Entscheidung gilt es vor dem Hintergrund der Werkzeugbaugröße sowie der zukünftigen strategischen Ausrichtung im Hinblick auf den Einsatz generativer Fertigungsverfahren zu treffen.

Handlungsfeld Smart Shopfloor

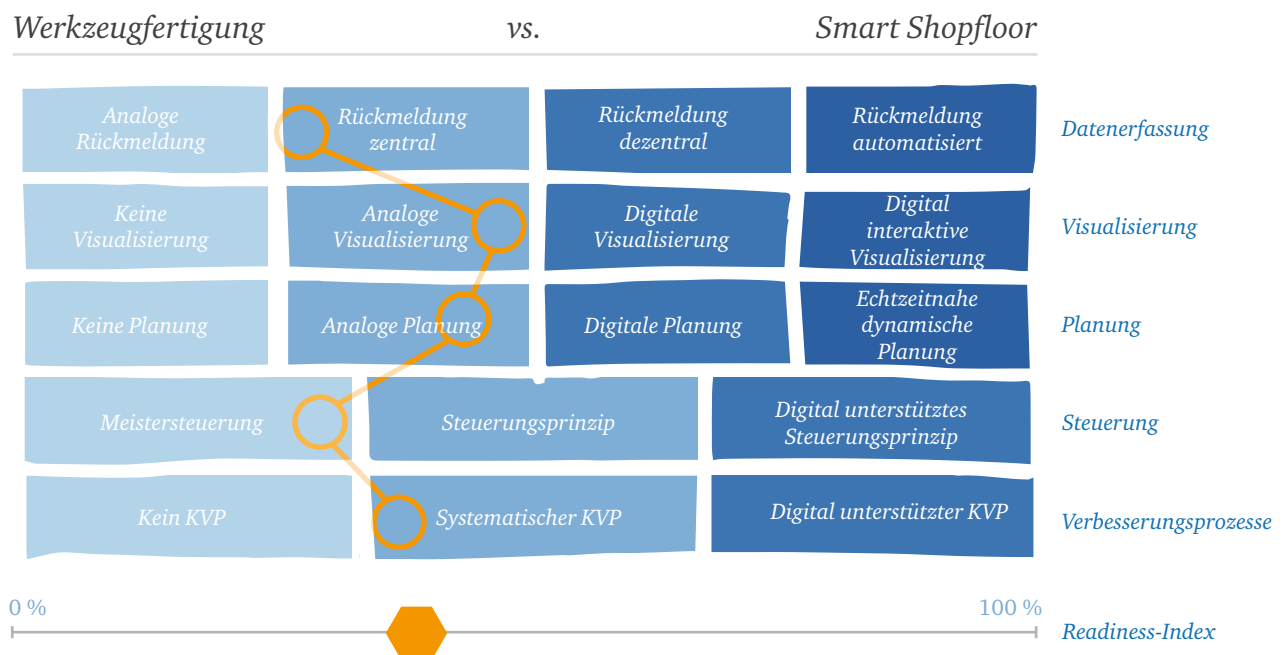
Der Leistungserstellungsprozess im Werkzeugbau findet in erster Linie auf dem Shopfloor statt, der mit einem durchschnittlichen Mitarbeiteranteil von 77 % der zentrale Ort der Wertschöpfung ist. Daher bietet dieser ein enormes Potenzial für die Aufnahme und Nutzung eines breiten Datenspektrums des gesamten Auftragsabwicklungsprozesses. In diesem Zusammenhang identifizieren 62 % der Werkzeugbaubetriebe in der Fertigung den größten Mehrwert durch Industrie 4.0-Anwendungen. Hierbei sehen die Unternehmen die Potenziale vor allem in der Fehlerreduktion (83 % der Unternehmen bewerten das Potenzial mit hoch), Produktivitätserhöhung (83 %), Verkürzung der Durchlaufzeiten (92 %) und Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit (100 %). Neben dem Kostendruck aus Niedriglohnländern führt ein Absinken der verfügbaren Arbeitskräfte bis 2050 um bis zu 28 % dazu,

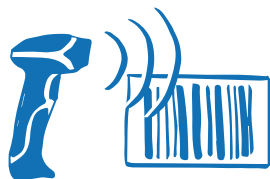
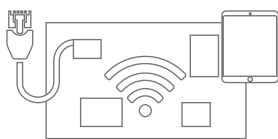
dass das Arbeiten auf dem Shopfloor in Zukunft produktiver ablaufen muss. Um auch zukünftig junge Mitarbeiter für den Werkzeugbau zu begeistern und diese zielgerichtet zu qualifizieren, muss der Werkzeugbau auf moderne Arbeitsinhalte und ein modernes Arbeitsumfeld setzen. Die Grundlage für eine Implementierung von Industrie 4.0 auf dem Shopfloor und damit einhergehende systematische Nutzung von Daten ist eine durchgängige CAx-Prozesskette von der Konstruktion über die Arbeitsvorbereitung, die Fertigung, die Montage und den Try-out bis hin zu der Qualitätssicherung. Während bei den meisten Unternehmen noch eine Datendurchgängigkeit zwischen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung vorhanden ist, wird diese bei 46 % der Unternehmen bereits zwischen Fertigung und Montage unterbrochen. Eine Durchgängigkeit der Daten über die kom-



62 %
der Unternehmen sehen
in der Fertigung die
größten Potenziale zum
Einsatz von Industrie
4.0-Anwendungen

Readiness-Index Werkzeugbau Smart Shopfloor





31 %
der Unternehmen
setzen halbautomati-
sierte Rückmelde-
systeme ein

plette Prozesskette bis hin zum Try-out und der Qualitätssicherung kann fast kein Unternehmen aufweisen. Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich bei der Verbreitung von neuen Technologien zur Rückmeldung von Betriebs- und Auftragsstatusdaten, da die Mehrheit aller Unternehmen auch weiterhin Daten analog zurückmeldet. Lediglich 31 % der Werkzeugbaubetriebe setzen halbautomatisierte Rückmeldesysteme, z. B. Barcodes und Lesegeräte ein. Lediglich 8 % der Werkzeugbaubetriebe verfügen über RFID- oder Indoor GPS-Systeme, die insbesondere eine automatisierte Erfassung von Auftragsstatusdaten ermöglichen. Insgesamt führt der oben beschriebene Status quo im Werkzeugbau zur der Notwendigkeit, den „traditionellen“ Shopfloor von Grund auf zu verändern, da die Prozesse aktuell zumeist durch persönliche Absprachen auf Tagesbasis koordiniert werden. Mitarbeiter haben so häufig nicht die notwendige Transparenz

über aktuell zu Aufträge, die Maschinenauslastung oder die Priorisierung der einzelnen Aufträge. Dies führt häufig dazu, dass vom Vertrieb kommunizierte Termine dem Kunden gegenüber nicht eingehalten werden können und sowohl der Kunde als auch der Werkzeugbau durch verspätete Werkzeugauslieferungen finanzielle Einbußen hinnehmen müssen. Zwar hat sich die Termintreue deutscher Werkzeugbaubetriebe in den vergangenen 10 Jahren von 67 % auf 75 % aller Aufträge erhöht, allerdings zeigt dieser Wert ebenfalls, dass noch weiteres Steigerungspotenzial besteht. Demnach sind neben einer Datendurchgängigkeit in der Prozesskette insbesondere die digitalen Technologien in den Bereichen Datenerfassung, Visualisierung, Planung und Steuerung sowie die kontinuierlichen Verbesserungsprozesse als diejenigen anzusehen, die die Nutzung der Industrie 4.0-Potenziale ermöglichen.

[Eine systematische und konsequente Datenerfassung ist branchenweit eine Ausnahme.]



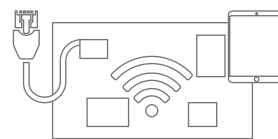
16 %
aller Daten werden in
Papierform erfasst -
Vieles wird weiterhin
überhaupt nicht doku-
mentiert

Die Erfassung von Betriebs- und Auftragsdaten spielt in zahlreichen Werkzeugbaubetrieben auch im digitalen Zeitalter noch eine eher untergeordnete Rolle, da die Unternehmen das große Potenzial einer systematischen Datenaufnahme noch nicht erkannt haben. Hierbei wird der Mehrwert der Datenaufnahme nicht identifiziert und ausschließlich der nicht wertschöpfende Charakter dieser Tätigkeit empfunden, für die durch den Kunden keine Entlohnung stattfindet. Zudem stehen 16 % der aufgenommenen Daten lediglich in Papierform zur Verfügung, sodass eine Integration der Daten in EDV-Systeme zur weiteren Nutzung nur durch aufwendige Datenkonvertierung möglich ist. Eine durchgängige Betriebs- und Auftragsdatenerfassung ist jedoch die Basis für

zahlreiche Formen der Datenauswertung. So schafft die Auswertung von Betriebs- und Auftragsdaten Transparenz über den Auftragsstatus. Eine regelmäßige Kommunikation dieser Information gegenüber dem Kunden stärkt die Kunden-Lieferanten-Beziehung nachhaltig. Zudem erhöht eine Betriebs- und Auftragsdatenerfassung die Nachkalkulationsgüte von Aufträgen, da die Ursache einer möglichen Kostenabweichung präzisiert werden können. Für zukünftige Werkzeugprojekte können die daraus gewonnenen Erkenntnisse Berücksichtigung finden, sodass die Kalkulations- und Angebotsgüte nachhaltig verbessert werden. Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass nur wenige Unternehmen die positiven Auswirkungen einer systematischen und

automatisierten Betriebs- und Auftragsdatenerfassung erkannt haben. Die meisten Werkzeugbaubetriebe melden Auftrags- und Betriebsdaten manuell an zentralen Terminals zurück. Die Daten liegen dann

zwar digital vor, jedoch ist die Datengenauigkeit von der Selbstdisziplin der eingebenden Mitarbeiter abhängig, wodurch es häufig zu Abweichungen von den tatsächlichen Abläufen kommt.



[Menschen werden im Alltag visuell gesteuert - im Werkzeugbau jedoch kaum.]

Branchenweit fühlen sich 43 % der Mitarbeiter im Werkzeugbau nicht ausreichend informiert in Bezug auf Kennzahlen wie beispielsweise der Auftragslage oder Termintreue und Maschinenbelegung. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass der Werkzeugbau traditionell kaum oder lediglich analoge Visualisierungsinstrumente in monatlichen Zyklen einsetzt, die über ein Shopfloorboard dargestellt werden. Aufgrund der Dynamik im Auftragsabwicklungsprozess und häufiger Umpriorisierungen der Aufträge stellen diese jedoch nicht die erforderliche Hilfestellung für Mitarbeiter dar. Abhilfe da-

für schaffen digitale Shopfloorboards, die über die Anbindung an die Betriebsdatensysteme Informationen und Kennzahlen echtzeitnah aktualisieren und anforderungsgerecht darstellen. Darüber hinaus lassen sich digitale Shopfloorboards auch interaktiv gestalten, so dass die Mitarbeiter gezielt die gewünschten Informationen über Touchscreens auch direkt hinterfragen können. Auf diese Weise lässt sich der aktuell mangelnden Informationsverfügbarkeit auf dem Shopfloor entgegenwirken, sodass die Zeit für Rücksprachen reduziert und zur Verrichtung wertschöpfender Aktivitäten erhöht wird.



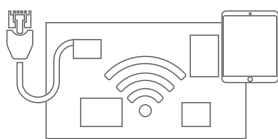
43 %

der Mitarbeiter auf dem Shopfloor fühlen sich nicht oder nicht ausreichend stark informiert

[Der Haupt-Stellhebel zur Erhöhung der Termintreue ist eine robuste Planung.]

Die Planung und Steuerung eines Herstellungsprozesses, der durch wenige Wiederholeffekte und zahlreiche Störgrößen charakterisiert ist, ist eine der größten Herausforderungen im Werkzeugbau. Zahlreiche Werkzeugbaubetriebe haben die Bedeutung einer funktionierenden Planung erkannt und daher in den letzten Jahren den Anteil der Mitarbeiter für planerische Tätigkeiten stetig erhöht. So setzen die erfolgreichsten Betriebe der Branche inzwischen fast 10 % der Belegschaft in der Arbeitsvorbereitung ein, mit weiterhin steigender Tendenz. Auch wenn dies alleine noch kein Garant für eine funktionierende und erfolgreiche Planung ist, so zeigt es

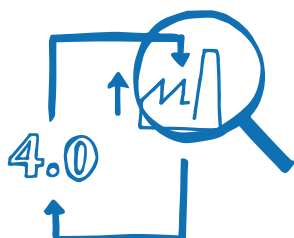
die Tendenz im Werkzeugbau, Mitarbeiter verstärkt in wissensintensiven Prozessen einzusetzen. Allerdings wird auch bei diesen Unternehmen häufig noch händisch geplant. Nachträgliche Änderungen werden nur unzureichend in der Planung berücksichtigt. Dies führt häufig dazu, dass Maschinenbelegungen nicht korrekt geplant sind und die Maschinenauslastung im Zeitverlauf stark schwankt – zwischen einem Bedarf an Maschinenkapazitäten, der über der verfügbaren Kapazität liegt, hin zu einer Unterauslastung der Maschinen. Die so zwangsläufig entstehenden Engpässe führen zu Verzögerungen in der Auftragsabwicklung oder zusätzliche Kapazitäten



müssen teuer als Eilaufträge extern eingekauft werden. Eine Glättung der Bedarfe durch eine vorausschauendere Planung kann hier Abhilfe schaffen. In diesem Zusammenhang identifizieren 75 % der Werkzeugbaubetriebe die Notwendigkeit, von der aktuell verbreiteten Planung ohne automatisierte Schnittstellen mit unregelmäßigen Anpassungen abzuweichen und eine

echtzeitnahe Planung auf Basis einer validen Auftrags- und Betriebsdatenerfassung einzuführen. Kern dieser echtzeitnahen dynamischen Planung ist eine Unterstützung der Planer, indem Umplanungen im System simuliert werden, um Auswirkungen auf andere Projekte und damit entstehende Kosten- und Zeitunterschiede dediziert ausweisen zu können.

[Die Steuerung der Aufträge auf dem Shopfloor erfolgt zumeist auf Zuruf durch den Meister.]



**75 %
sehen die Schaffung
bereichsübergreifender
Transparenz durch
Industrie 4.0 als großes
Potenzial**

Die Aufgabe der Steuerung im Werkzeugbau ist die Priorisierung der Aufträge an den unterschiedlichen Bearbeitungsstationen. Die im Fertigungsverlauf auftretenden Abweichungen vom geplanten Ablauf, beispielsweise eine verlängerte Fertigungszeit an einer Maschine, können durch eine Steuerung ausgeglichen werden. Die Steuerung ist somit feingranularer und dient zur Einhaltung der geplanten Fertigstellungszeitpunkte der Bauteile bei gleichzeitiger Maximierung der Auslastung aller verfügbarer Kapazitäten.

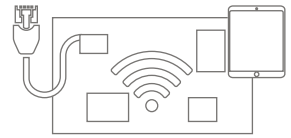
Analog zur Planung erfolgt auch die Steuerung aktuell noch bei einem Großteil der Werkzeugbaubetriebe unsystematisch und auf Erfahrungswerten des Meisters. In diesem Zusammenhang spricht man von der sogenannten Meistersteuerung. Dies führt häufig dazu, dass aufgrund der hohen Steuerungskomplexität durch die Menge unterschiedlicher Auftragsstypen nicht immer die fertigungsoptimale Priorisierung erreicht wird. In der Konsequenz führt dies zu Terminverzögerungen oder einer unterdurchschnittlichen Auslastung der Pro-

duktionsmittel. Ein digital unterstütztes Steuerungsprinzip kann durch die Wahl geeigneter Parameter und Priorisierungsregeln dazu beitragen, die Steuerungsaktivitäten auf dem Shopfloor zu unterstützen und die Fertigung hinsichtlich der vorweg genannten Zielgrößen zu optimieren. Die Branche Werkzeugbau erkennt die Bedeutung digital unterstützter Steuerungsprinzipien, da 83 % der Unternehmen das Potenzial zur Reduktion der Herstellkosten durch den Einsatz von Industrie 4.0-Anwendungen zur intelligenten Steuerung als hoch einstufen. Branchenweit sind digital unterstützende Steuerungssysteme bisher nicht etabliert, was vor allem im fehlenden Angebot an Softwarelösungen begründet liegt. Viele Firmen scheuen vor allem aufgrund hoher Kosten und großer Komplexität eines solchen Steuerungssystems Eigenentwicklungen. Die Branche Werkzeugbau steuert ihre Aufträge in der Fertigung noch immer weitestgehend durch interne Abstimmungen und Weisungen des Meisters.

[Ein systematischer und digital unterstützter kontinuierlicher Verbesserungsprozess ist momentan die Ausnahme im Werkzeugbau.]

Das umfangreich aufgebaute Know-how der Mitarbeiter in den vergangenen Jahrzehnten bildet heutzutage die Grundlage für den Erfolg des deutschen Werkzeugbaus im globalen Wettbewerb. Dieses Know-how zeigt sich insbesondere im Umgang mit Abweichungen und Fehlern im Fertigungs- und Montageprozess. Aktuell werden Fehler zwar in der Regel behoben, eine systematische Dokumentation von Abweichungen und Fehlern sowie eine entsprechende Auswertung von Daten erfolgt jedoch nicht. Einige Werkzeugbaubetriebe verwenden einen systematischen KVP-Prozess im Zuge des täglichen Shopfloormanagements. Im Rahmen dessen werden aufgetretene Abweichungen und Fehler besprochen und Gegenmaßnahmen diskutiert. Diese Maß-

nahmen werden allerdings häufig nicht verfolgt. Zudem lassen sich entsprechende Fehler nicht auswerten, um beispielsweise häufig auftretende Fehlerquellen zu identifizieren. Ein digital unterstützter KVP-Prozess ermöglicht die systematische Aufnahme von Fehlern, beispielsweise mit Hilfe von Tablet-Computern oder Datenbrillen. Die Dokumentation erfolgt standardisiert und auswertbar. Zudem können sowohl kurzfristige Maßnahmen zur Fehlerbehebung als auch langfristige Maßnahmen zur Fehlerprävention mit einem entsprechenden Software-Tool nachgehalten werden. Die Verknüpfung mit einem entsprechenden Wissensmanagementsystem ermöglicht zudem eine kontinuierliche Erweiterung der organisationalen Wissensbasis.



83 %
**sehen sehr großes
Potenzial von Industrie
4.0-Anwendungen in
der Auftragssteuerung
zur Reduktion der Her-
stellkosten**

Handlungsfelder

Der Status quo in den einzelnen Bereichen des Smart Shopfloors zeigt, dass der Werkzeugbau in der aktuellen Situation lediglich einen geringen Readiness-Index im Hinblick auf die Implementierung der Inhalte eines Smart Shopfloors aufweist. Insbesondere in den Feldern der Datenerfassung sowie der Steuerung und den Verbesserungsprozessen weist der Werkzeugbau großes Verbesserungspotenzial auf. Im Allgemeinen lässt sich ein Smart Shopfloor als Gebilde verstehen, auf dem der Mensch durch den Einsatz digitaler Technologien unterstützt wird. Arbeitssysteme, die auf dem Shopfloor Anwendung

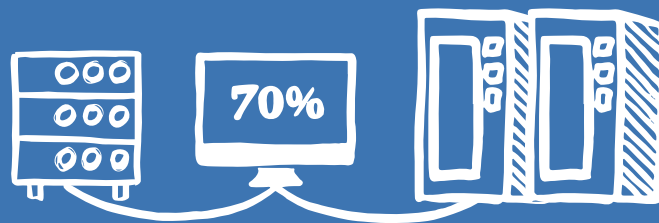
finden, sind zunehmend in der Lage, eine eigene Handlungskompetenz auszubilden und eigenständig zu agieren. Der Mitarbeiter wird so von nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten entlastet und kann mit einem effizienteren Einsatz seiner Arbeitskraft zu einer Produktivitätssteigerung auf dem Shopfloor beitragen. Zur Erreichung eines Smart Shopfloors im Werkzeugbau sind drei Handlungsfelder zu adressieren: Die digital unterstützte Mitarbeiterführung, die Mensch-Maschine-Interaktion und das digitale Ressourcen- und Auftragsmanagement.



*Digital unterstützte
Mitarbeiterführung*



Mensch-Maschine-Interaktion



*Digitales Ressourcen- und
Auftragsmanagement*

Digital unterstützte Mitarbeiterführung



In der digital unterstützten Mitarbeiterführung sollen die Mitarbeiter des Shopfloors über die ressourcen- und auftragsseitigen Soll- und Ist-Zustände kontinuierlich und transparent informiert werden. Insbesondere der Endtermin des Werkzeugs sowie die Meilensteintermine der Bauteile stellen relevante Soll-Zustände für die Mitarbeiter dar. Dies kann einerseits allgemein in Form zentral angebrachter, digitaler Shopfloorboards oder über Tablets und Bildschirme an den Arbeitsstationen selbst geschehen. Neben der reinen Darstellung von Soll-Daten ist es gleichermaßen möglich, Ist-Zustände aufzunehmen. Ist-Zustände informieren den Mitarbeiter über den Arbeitsfortschritt eines Auftrags, die Materialverfügbarkeit im Lager oder die Auslastung von Arbeitsstationen. Zusätzlich zu Soll- und Ist-Zuständen eignet sich die Digitalisierung von Arbeitsplänen, um diese in papierloser Form zur Verfügung zu stellen. So können dem Mitarbeiter an der Maschine oder in der Montage beispielsweise Steuerungsinformationen aus dem PPS-System echtzeitnah übermittelt werden, sodass diesem jederzeit die aktuelle Priorisierung seines Arbeitsvorrats angezeigt wird. Die Bearbeitungsreihenfolge kann aktiv beeinflusst werden, wenn das System dies zu unterschiedlichen Fertigungsprioritäten mit Auswirkungen auf den Fertigstellungstermin, die entstehenden Herstellungskosten und die Maschinenauslastung zur Verfügung stellt.

Dadurch kann die optimale Fertigungsreihenfolge unter den jeweils vorgegebenen Rahmenbedingungen (z. B. hohe Termintreue, geringe Streuung der Durchlaufzeit, geringer Rüstaufwand etc.) erreicht werden.

Zur Umsetzung der digitalen Unterstützung gilt es für Werkzeugbaubetriebe zunächst, eine systematische und kontinuierliche Datenaufnahme entlang des gesamten Auftragsabwicklungsprozesses zu forcieren und Datenbankstrukturen zu schaffen, die eine Auswertung und nachträgliche Darstellung der Daten auf dem Shopfloor ermöglichen. Eine Möglichkeit zur Umsetzung dessen auf dem Shopfloor ist ein standardisierter digitaler Workflow. Dadurch lassen sich bisher analog vorgenommene Dokumentationsprozesse, beispielsweise das Ausfüllen von Messprotokollen, standardisieren. Bei digitalen Workflows handelt es sich um im System vorgegebene sogenannte Zwangsfelder, die vom Mitarbeiter zwangsläufig ausgefüllt werden müssen. Das Ausfüllen der Zwangsfelder, gegebenenfalls auch mit vorgegebenen Auswahlmöglichkeiten, stellt sicher, dass die im System hinterlegten Daten später nach festgelegten Kriterien systematisch auswertbar sind. Im Anschluss daran erfolgt eine Aufbereitung der Daten und die Gestaltung der Benutzeroberfläche, die ein intuitives und schnelles Verständnis der Daten auf dem Shopfloor ermöglicht.



Mensch-Maschine-Interaktion

Eine zentrale Aktivität auf dem vernetzten Shopfloor ist die Interaktion von Mensch und Maschine. Das Ziel sollte hierbei sein, die Anzahl manueller und nicht-wertschöpfender Vorgänge auf dem Shopfloor zunächst so weit wie möglich zu reduzieren. Hierzu existieren bereits unterschiedliche Systeme und Lösungen auf dem Markt, die je nach Unternehmen Anwendung finden können. Für den Werkzeugbau als Kleinserienfertiger mit hoher Auftragsvarianz weisen insbesondere drei Lösungen ein hohes Potenzial auf, die im Rahmen des Smart Shopfloors umgesetzt werden können. Diese erhöhen die Effizienz im Werkzeugbau vor allem in den Bereichen der Planung- und Steuerung sowie der Montage.

Zur Rückmeldung der Auftrags- und Fehlerdaten werden heute in einigen Unternehmen bereits Terminals eingesetzt, an denen Mitarbeiter auf dem Shopfloor anfallende Daten ins ERP- oder PPS-System eintragen. Da diese Art der Datenaufnahme einen erheblichen Aufwand bedeutet und fehleranfällig ist, gilt es, die Rückmeldung an der jeweiligen Maschine oder Montagestation zu ermöglichen. Ein einfaches und kostengünstiges System stellt der QR-Code Scanner da. Dieser scannt einen auf dem Bauteil oder dem beiliegenden Auftrag angebrachten QR-Code beim Eintreffen des Bauteils an der Bearbeitungsstation sowie zum Beginn der Bearbeitung, dem Abschluss der Bearbeitung und beim Verlassen der Bearbeitungsstation. Die Daten werden echtzeitnah an das PPS-System gemeldet, wo sie zur Auswertung des aktuellen Auftragsfortschritts, der digitalen Ressourcenplanung sowie zur Nachkalkulation der Aufträge genutzt werden.

Eine weitere Möglichkeit zur automatisierten Auftragsstatusdatenerfassung stellen RFID Tags an den Bauteilen dar, die von Empfängern an der jeweiligen Station in ihrer Position erfasst werden und dadurch den jeweiligen Bauteilstatus übermitteln. Hierdurch werden Fehler in der Rückmeldung durch den Mitarbeiter vermieden.

Die Fehlerdokumentation bietet weiteres Potenzial für den Einsatz von Systemen mit verbesserter Mensch-Maschine-Interaktion. Hierzu bieten sich Systeme an, bei denen mit Hilfe eines Tablets Fehler

während der gesamten Werkzeugprozesskette aufgenommen und bei Bedarf mit einer Fotodokumentation erweitert werden. Durch eine zentrale Speicherung auf einem unternehmensinternen Server sind der Zugriff und die Auswertung über unterschiedliche Gerätetypen jederzeit und jederorts möglich.

Die Voraussetzung hierfür ist neben der Anschaffung der Hardware eine auf die Bedürfnisse und Prozesse des Unternehmens adaptierte Software. Schnittstellen mit anderen Systemen, wie z. B. dem PPS-System, erlauben eine Verknüpfung zur Ermittlung der Fehlerkosten oder eine echtzeitnahe Einplanung der Nacharbeit in die Maschinenkapazitäten.

Die Vermeidung von Fehlern im Herstellungsprozess wird nicht nur durch eine Fehlerdokumentation und -auswertung unterstützt. Auch eine digital unterstützte Montage kann der Fehlerprävention dienen und durch Bereitstellung relevanter Informationen die Werkzeugmontage beschleunigen. Hierzu eignen sich insbesondere neue Technologien im Bereich der Augmented Reality (AR) und der CAD-Viewer auf Tablet-PCs, die in ihrer Gesamtheit im Rahmen von digitalen Montageteams eingesetzt werden können.

Dem Mitarbeiter werden während der Montage die relevanten Informationen, wie die richtige Montagereihenfolge oder die pro Arbeitsschritt benötigten Bauteile, visualisiert. Auch können Augmented Reality Systeme dazu dienen, die Positionierung einer Komponente mit dem digitalen CAD-Abbild abzugleichen, um so eine Vollständigkeit der Montage sicherzustellen. Sollte dem Mitarbeiter hierbei ein Fehler unterlaufen, wird er durch das System rechtzeitig gewarnt, sodass zeitaufwändige De- und Neumontagetätigkeiten vermieden werden.

Die Voraussetzung hierfür ist neben der Bereitstellung der notwendigen Hardware die Anbindung an die bestehende Infrastruktur. Der Abgleich der Montage mit bestehenden CAD-Zeichnungen ist unter Zuhilfenahme der entsprechenden Software ohne größeren Aufwand möglich. Die Erstellung digitaler Montageanimationen kann jedoch je nach eingesetztem System in Zusatzaufwand resultieren.

Digitales Ressourcen- und Auftragsmanagement



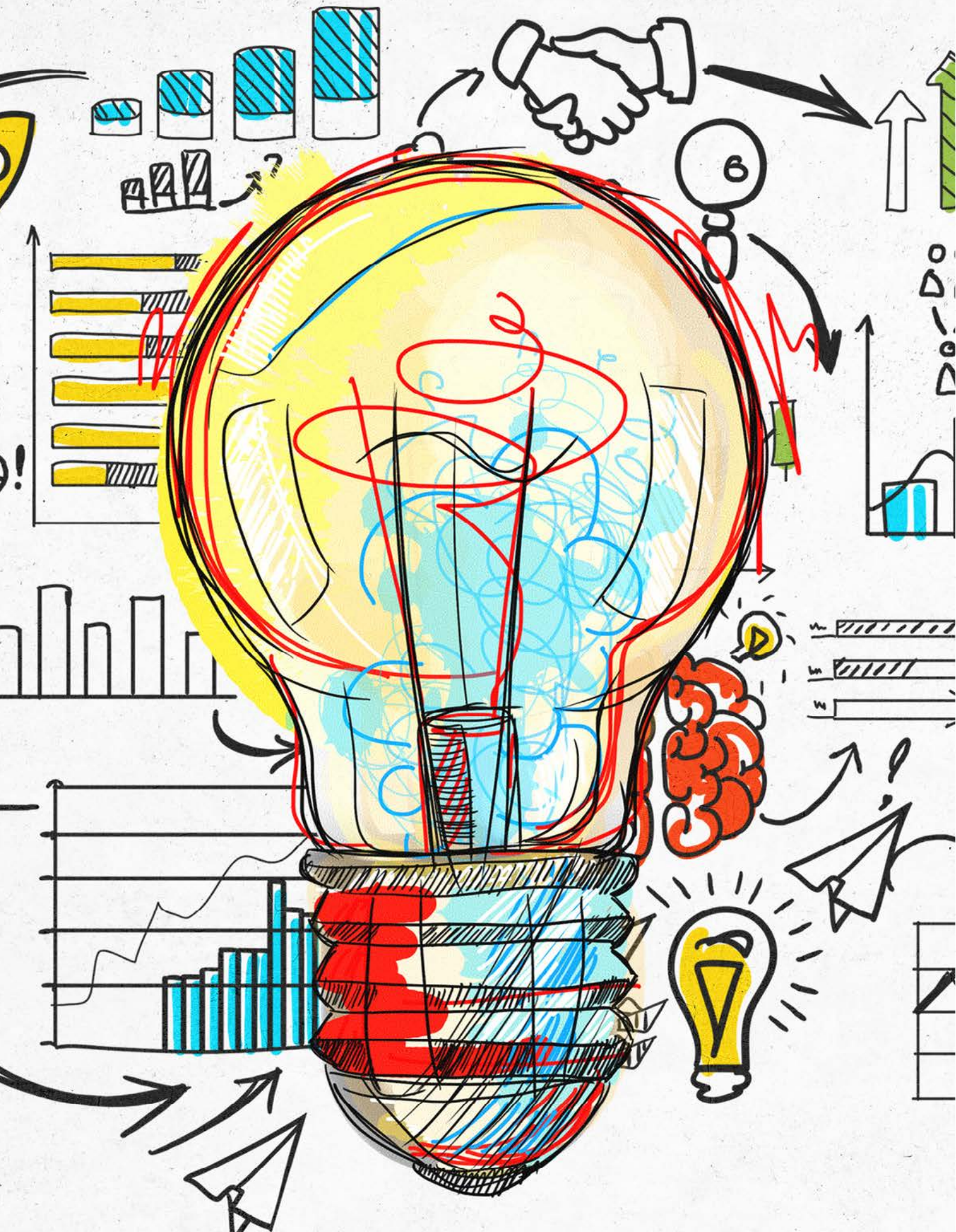
Die Ressourcen- und Auftragsplanung ist eine der zentralen Aufgaben auf dem Shopfloor des Unternehmens. Einerseits bestimmt die Ressourcen- und Auftragsplanung maßgeblich die Auslastung und damit die Kostenstruktur eines Unternehmens. Andererseits legt die Ressourcen- und Auftragsplanung den Grundstein für die Termintreue durch die Priorisierung der jeweiligen Aufträge. Die Fertigung einzelner Bauteile von Werkzeugen erfolgt mittels unterschiedlicher Prozessketten, die bei einer parallelen Bearbeitung mehrerer Aufträge teils zu einer chaotischen Auftragspriorisierung an den Arbeitsstationen führen. Eine digitale Ressourcen- und Auftragsplanung unterstützt die Mitarbeiter, indem mögliche Fertigungsalternativen dynamisch angezeigt und Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden. Zur Realisierung des digitalen Ressourcen- und Auftragsmanagements sollte eine vierstufige Vorgehensweise verfolgt werden. Bereits im Unternehmen existierende Lösungen müssen hierbei gegebenenfalls lediglich ergänzt oder an die Anforderungen des digitalen Ressourcen- und Auftragsmanagements angepasst werden.

Als ersten Schritt bedarf es der Einführung eines Systems zur Planung und Steuerung (PPS) von Aufträgen, das die unternehmensinterne Planungssystematik zutreffend abbildet. In einem PPS-System sind alle Aufträge digital mit den zentralen Kerndaten des Auftrags hinterlegt. Das PPS-System ist nach Festlegung der unterschiedlichen Randbedingungen wie dem Kapazitätsbedarf des jeweiligen Auftrags, dem verfügbaren Kapazitätsangebot sowie weiterer Einflussfaktoren durch die Maschinenstundensätze oder die Qualitätskriterien der Maschinen in der Lage, die Berechnung für eine optimale Fertigungs- und Reihenfolgeplanung der Aufträge und Ressourcen durchzuführen. Es stellt somit das Herzstück des digitalen Ressourcen- und Auftragsmanagements dar.

In einem zweiten Schritt muss das PPS-System „angelernt“ und auf die betriebsspezi-

fischen Randbedingungen eingestellt werden. Um eine Berechnung der optimalen Planung von Aufträgen und Ressourcen vornehmen zu können, müssen dazu Kapazitätsbedarfe einzelner Auftragsstypen im PPS-System hinterlegt sein. Dies muss initial händisch vorgenommen werden, sollte aber im weiteren Betrieb durch die Analyse rückgemeldeter und abgeschlossener Auftragsdaten zu den tatsächlich benutzten Kapazitätsbedarfen iteriert werden, um so die Planung kontinuierlich dem vorgegebenen Optimum anzunähern. Neben dem Kapazitätsbedarf einzelner Aufträge muss auch das Kapazitätsangebot im PPS-System angelegt werden. Hier sind vor allem verfügbare Maschinenstunden (abzüglich statistischem Ausfall und geplanter Wartung) sowie die Personalverfügbarkeit relevant.

Die Erfüllung der ersten beiden Schritte bildet die Ressourcenplanung statisch ab und entspricht somit nicht zwangsläufig dem tatsächlichen Auftragsfortschritt auf dem Shopfloor. Hierzu gilt es, eine Erfassung von Betriebs- und Auftragsdaten in der Fertigung zu realisieren. Mit Hilfe der Betriebs- und Auftragsdatenerfassung kann demnach ein echtzeitnaher Abgleich von geplanten und tatsächlichen Auftragsdaten stattfinden und die Planung flexibel auf die derzeitige Auftragslage und Ressourcenverfügbarkeit angepasst werden. Abschließend ist die grafische Aufbereitung der unterschiedlichen Fertigungs- und Priorisierungsalternativen im Sinne eines Leitstands vorzunehmen. Die im PPS-System hinterlegten Daten zu aktuellen Auftragsfortschritten, Ressourcenverfügbarkeiten und Maschinenstundensätzen werden hierbei in Verbindung mit dem realen Status auf dem Shopfloor analysiert, um durch Algorithmen Prognosen über zukünftige Produktionsalternativen zu treffen und dem Entscheider unterschiedliche Auswirkungen sowie Handlungsempfehlungen aufzuzeigen. Bei geringen Abweichungen vom Regelprozess kann das System basierend auf den Zielvorgaben eine selbstständige Planung und Auftragspriorisierung vornehmen.

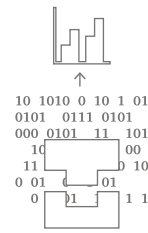


Handlungsfeld Smart Solution

Die Kernaufgabe von Werkzeugbetrieben besteht in der Befähigung von Serienproduzenten, ihre Endprodukte effizient unter Erreichung des höchsten Kundennutzens herzustellen. Dies erfolgt im heutigen Werkzeugbau durch den Einsatz von Werkzeugen und Dienstleistungen, die im Mittelpunkt des Leitungsportfolios von Werkzeugbaubetrieben stehen.

Aufgrund der zunehmend aufstrebenden internationalen Konkurrenz auf dem Werkzeugbaumarkt sowie der stärkeren Verlagerung der Produktion ins Ausland verliert der Werkzeugbau zunehmend seine langjährigen strategischen Erfolgspositionen: Qualität, Kundennähe und Flexibilität. Folglich benötigt der Werkzeugbau zur Differenzierung neue Geschäftsfelder, um nachhaltig wettbewerbsfähig zu sein. Hierzu sehen 63 % der Werkzeugbaubetriebe das Angebot von kundenindividuellen Lösungen unter dem Einsatz sogenannter Smart Solutions als das erfolgversprechendste Geschäftsfeld an. Smart Solutions umfassen ganzheitliche Lösungen, bestehend aus Werkzeug und Dienstleistungen, die basierend auf den Daten des Digitalen Schattens digital veredelt auf den Kundennutzen zugeschnitten werden. Folglich vereinen Smart Solutions intelligente Pro-

dukte (Smart Products) und intelligente Dienstleistungen (Smart Services). Intelligente Produkte bilden Produkte ab, die sich durch das Hinzufügen von Sensorik und Aktorik selbstoptimierend wechselnden Gegebenheiten eigenständig anpassen können. In ihrer höchsten Ausbaustufe sind sie dabei in der Lage, die Güte der eigenen Entscheidungen durch Selbstlernprozesse kontinuierlich zu erhöhen. Intelligente Dienstleistungen sind hingegen Services, die durch die Verwendung von Daten zu einem einzigartigen Kundenmehrwert führen, so z. B. die Auswertung von Sensordaten zur Ermittlung des Wartungszeitpunkts eines Werkzeugs oder die Bestimmung der optimalen Betriebsparameter basierend auf wechselnden Rahmenbedingungen. Obwohl 46 % der Werkzeugbaubetriebe eine definierte Strategie und Roadmap zur Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen für ihre Geschäftstätigkeiten entwickelt haben und zudem 69 % der Unternehmen bereits erste Industrie 4.0-Anwendungen implementiert haben, verfügt bisher kaum ein Unternehmen über Smart Solutions in seinem Leistungsportfolio. Diese stellen ein erforderliches Handlungsfeld für Werkzeugbaubetriebe dar, um zukünftig wettbewerbsfähig zu bleiben.



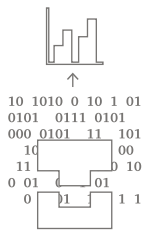
63 %

sehen kundenindividuelle Lösungen unter dem Einsatz sogenannter Smart Solutions als das zukünftig erfolgversprechendste Geschäftsfeld an

[Werkzeuge und Dienstleistungen sind den Kunden „egal“ - der Werkzeugbau muss Lösungen anbieten.]

Bisher bieten deutsche Werkzeugbaubetriebe vor allem das physische Werkzeug als Kern der Leistung an. Neben diesem physischen Werkzeug bieten die meisten Werkzeugbaubetriebe vereinzelte Dienstleistungen wie beispielsweise die Instandhaltung oder Reparatur von Werkzeugen an. In Zukunft erwarten die Kunden des Werk-

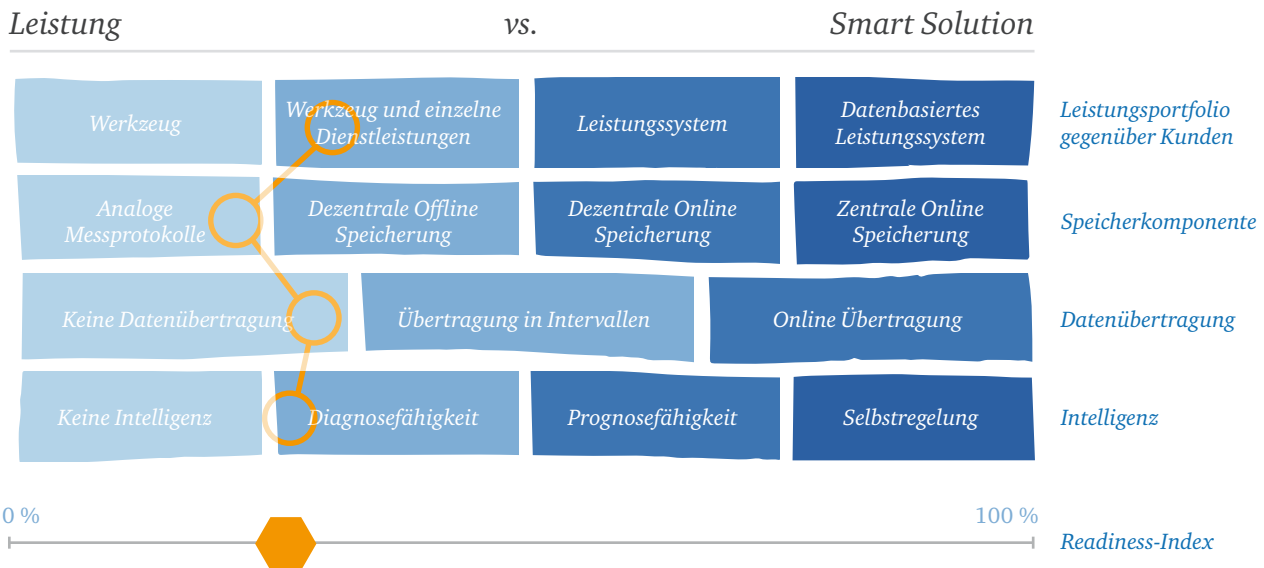
zeugbau jedoch nicht mehr rein physische Werkzeuge oder einzelne Dienstleistungen, sondern ganzheitliche Lösungen aus einer Hand zu spezifischen Problemstellungen der eigenen Produktion. In Zukunft können dazu vor allem Produktionsdaten genutzt werden, für dessen Auswertung das produktionstechnische Know-how der



Werkzeugbaubetriebe gefragt ist. Werkzeugbaubetriebe nutzen aktuell das Potenzial entstehender Daten aus der Produktion nicht, um kundenindividuelle und Mehrwert stiftende Dienstleistungen, wie die Vorhersage von Werkzeugausfällen, anzubieten. Dies scheint sich jedoch aktuell zu ändern, da 54 % der Werkzeugbaubetriebe Daten zur Planung der laufenden Produktion des Kunden in Zukunft eine hohe Bedeu-

tung zuordnen. Dabei ist der Werkzeugbau jedoch in hohem Maße auf die Bereitschaft des Kunden, diese Daten auch zur Verfügung zu stellen, angewiesen. Das Ziel der Datenaufnahme stellt hierbei insbesondere die Generierung von zusätzlichem Wissen zur Produktion des Kunden dar, um basierend darauf kundenspezifische Lösungen anzubieten.

Readiness-Index Werkzeugbau Smart Solution



[Das Potenzial von Intelligenz wurde erkannt, nun folgt die Umsetzung.]



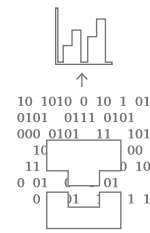
54 %
aller Unternehmen bewerten die Bedeutung der Aufnahme von Kundendaten als sehr hoch

Werkzeugbaubetriebe sehen sich gegenüber der aktuell vorherrschenden und klassischen Interpretation als reiner Werkzeuglieferant zukünftig als Produktionsbefähiger des Kunden. Durch sein Wissen entlang der gesamten Prozesskette stellt der Werkzeugbau die Produktionssicherheit beim Kunden sicher und sorgt neben klassischer Wartung und Instandhaltung dafür, dass die Produktion unter optima-

len Bedingungen abläuft. Hohe Produktionssicherheit und gleichzeitig optimalen Bedingungen kann nur durch eine digitale Veredelung von Werkzeugen und Dienstleistungen sowie der Verknüpfung dieser zu intelligenten Lösungen erreicht werden. Einige Unternehmen integrieren bereits heute Sensorik in ihren Werkzeugen, um beispielsweise Temperaturen am Heißkanal oder die Anzahl an Hüben im Produktions-

prozess zu messen. Diese Betriebe sind zumindest bedingt fähig, Problemdiagnosen im Nachgang des Prozesses durchzuführen und manuell Verbesserungen einzuleiten. Demgegenüber nutzen Werkzeugbaubetriebe heutzutage weitestgehend nicht das bestehende Potenzial von Sensorik- und Aktoriklösungen, um Werkzeuge zu cyber-physischen, selbstlernenden Systemen weiterzuentwickeln. Gleichzeitig besteht ein geringer Umsetzungsgrad hinsichtlich der Aufnahme und der Auswertung von Daten, denn während eines Produktionsprozess

an unterschiedlichen Stellen entstandene große Datenmengen erfahren aktuell keine Berücksichtigung durch den Werkzeugbau. Sofern ein Bewusstsein über die Existenz unterschiedlicher Daten besteht, werden diese aktuell nicht systematisch aufgenommen und zur Optimierung von Produktionsprozessen genutzt. Die hierzu notwendige systemtechnische und ganzheitliche Vernetzung aller am Produktionsprozess beteiligten Elemente ist durch den Werkzeugbau aktuell nicht abgedeckt.



[Die Datenspeicherung und -übertragung stehen erst am Anfang der Entwicklung.]

Die Aufnahme und Speicherung von Werkzeugdaten im Serienproduktionsprozess des Kunden findet bisher, wenn überhaupt, manuell statt. Diese Form der Datensammlung weist jedoch einige signifikante Nachteile auf. Da sie zum einen zeitaufwändig ist, werden Daten häufig nicht gepflegt, zum anderen können Daten so weder zeit- noch ortsunabhängig zur Verfügung gestellt und genutzt werden. Eine erste Verbesserungsstufe stellen lokale Datenspeicher am Werkzeug dar, die durch Werkzeugsensorik aufgenommene Daten auf einem lokalen Speichermedium hinterlegen. Diese können dann bei Bedarf durch eine physische Datenverbindung am Werkzeug ausgelesen werden. Da die gesammelten Daten in dieser Stufe durch die Größe und Verfügbarkeit der Daten jedoch stark beschränkt sind, stellt die dezentrale online Speicherung die nächste Ausbaustufe der Speicherung dar. Hier wird nicht nur die Breite der erhobenen Daten erhöht, sondern auch die Verfügbarkeit der Daten stark verbessert. Da eine zentrale Aggregation der Daten zu Analysezwecken sehr sinnvoll ist, in der dezent-

ralen Speicherung allerdings nicht möglich ist, stellt die zentrale online Speicherung die höchste Ausbaustufe da. Hier können Daten von verschiedenen Werkzeugen kontinuierlich ausgelesen und ausgewertet werden. Dabei werden alle entstandenen Daten, Programme und Systeme nicht auf lokalen Rechnern installiert und gespeichert, sondern über die IT-Infrastruktur zur Verfügung gestellt. Dabei kann der Zugriff sowohl intern durch den Kunden selbst als auch extern durch den Werkzeugbau erfolgen, sodass dieser bei Problemen mit dem Werkzeug relevante Parameter auslesen und analysieren kann. 85 % der Werkzeugbaubetriebe sehen dem Cloud-Computing eine hohe Bedeutung in der Wertschöpfung von Werkzeugbaubetrieben vorher. Um eine effiziente Übertragung an eine Cloud in der notwendigen Datendichte zu gewährleisten, sind Online-Vernetzungskomponenten von großer Bedeutung. Diese sichern eine kontinuierliche Verbindung zum Speichermedium und ermöglichen auf diese Weise die Entstehung von Big Data.



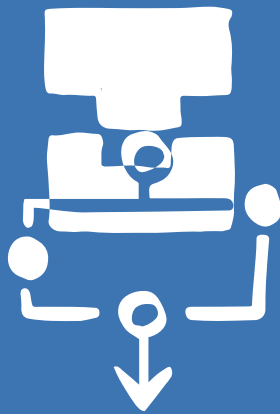
85 %
aller Unternehmen
sagen dem Cloud-Computing eine hohe Bedeutung zur Gestaltung eines kundenspezifischen Leistungsangebots zu

Handlungsempfehlungen

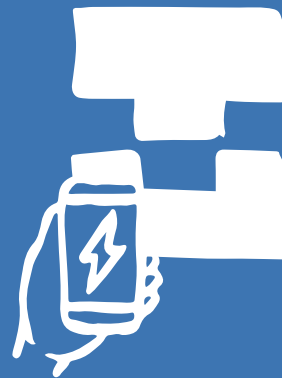
Der Status quo der Branche Werkzeugbau in Bezug auf die Themenbereiche Leistungsportfolio, der Intelligenz, der Speicherkomponente und Datenübertragung hat zahlreiche kurz- und langfristige Verbesserungspotenziale für den Werkzeugbau aufgezeigt. Insgesamt ergibt sich ein vergleichsweise geringer Readiness-Index der Branche im Bereich der Smart Solu-

tions. Dies begründet einen Handlungsbedarf für Werkzeugbaubetriebe, sich zu einem Anbieter ganzheitlicher, intelligenter Lösungen für den Kunden zu entwickeln.

Die zwei zentralen Handlungsempfehlungen zur Realisierung dessen sind in der Entwicklung von Smart Tools und Smart Services zu sehen.



Smart Tools

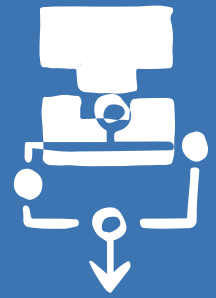


Smart Services

Smart Tools

Das Ziel der Entwicklung von intelligenten Werkzeugen bzw. Smart Tools ist es, konventionelle Werkzeuge, bestehend aus mechanischen und mechatronischen Komponenten, durch die Integration moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zu cyber-physischen Systemen (CPS) weiterzuentwickeln. Eine solche „digitale Veredelung“ von Werkzeugen ermöglicht es Werkzeugbaubetrieben einerseits, das Werkzeug ferngesteuert zu überwachen und zustandsabhängig sowie präventiv Dienstleistungen wie Wartungen oder Reparaturen anzubieten. Andererseits ist es dadurch möglich, Werkzeuge mit anderen Komponenten sowie Systemen oder Anlagen zu vernetzen, um dadurch das Gesamtoptimum des Produktionsumfelds zu realisieren. Hierzu müssen Werkzeugbaubetriebe zukünftig das physische Werkzeug um intelligente Komponenten wie Sensoren, Aktoren und Regelungssysteme erweitern. Dazu ist es notwendig, die relevanten Parameter des gesamten Produktionsprozesses zu identifizieren und mithilfe von Sensorik aufzunehmen. Anschließend sind Ursache-Wirkungsbeziehungen zu ermitteln, um entsprechende Aktoriklösung aus-

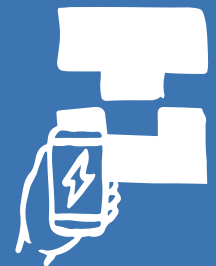
wählen zu können. Eine intensive Marktrecherche zu bestehenden Sensorik- und Aktoriklösungen ist vorab durchzuführen, um eine anforderungsgerechte Integration in das Werkzeug zu gewährleisten. Eine ähnliche Vorgehensweise ist bei den Regelungssystemen zu verfolgen. Abschließend gilt es, die Vernetzungskomponenten zu integrieren, sodass eine Kommunikation mit anderen Systemen der Serienproduktion ermöglicht wird sowie gemessene Daten und Informationen aus dem Produktionsumfeld empfangen und weiterverarbeitet werden können. Insbesondere die Vernetzung mit unterschiedlichen Systemen in der Produktion unterscheidet Smart Tools von bestehenden Automatisierungslösungen, denn durch den Abgleich von historischen und aktuellen Daten kann eine vorausschauende Adaption erfolgen und dadurch eine Selbstoptimierung des Systems erreicht werden. Demnach werden durch die digitale Veredelung des Werkzeugs eine Vielzahl an Daten aufgenommen, die neben der Optimierung und Selbststeuerung der Produktion für das Anbieten von datenbasiert veredelten intelligenten Dienstleistungen genutzt werden können.



Smart Services

Intelligente Dienstleistungen bzw. Smart Services sind kundenindividuelle, datenbasierte Dienstleistungen, die aus der Analyse und Auswertung großer Datenmengen resultieren und eine kundenspezifische Fragestellung der Produktion beantworten. Der Unterschied zu aktuell bestehenden Dienstleistungen besteht in der Art der Leistungserbringung, die sich bei Smart Services auf eine fundierte Datenanalyse stützt. Folglich sind Werkzeugbaubetriebe zukünftig angehalten, die Daten aus intelligenten Werkzeugen aufzunehmen sowie das im

Werkzeugbau vorhandene Wissen in Daten zu überführen, um im Anschluss durch den Einsatz von Data Mining Algorithmen Smart Services für den Kunden abzuleiten. Eine detaillierte Analyse der Daten mittels auf dem Markt existierender Data Mining Algorithmen ermöglicht es Werkzeugbaubetrieben, Muster und bisher unbekannte Prozessanomalien zu entdecken und diese im Sinne einer Prognosefähigkeit für sich zu nutzen: Durch die Vorhersage von Ereignissen kann mithilfe des frühzeitigen Eingriffs seitens des Werkzeugbaubetriebs ein

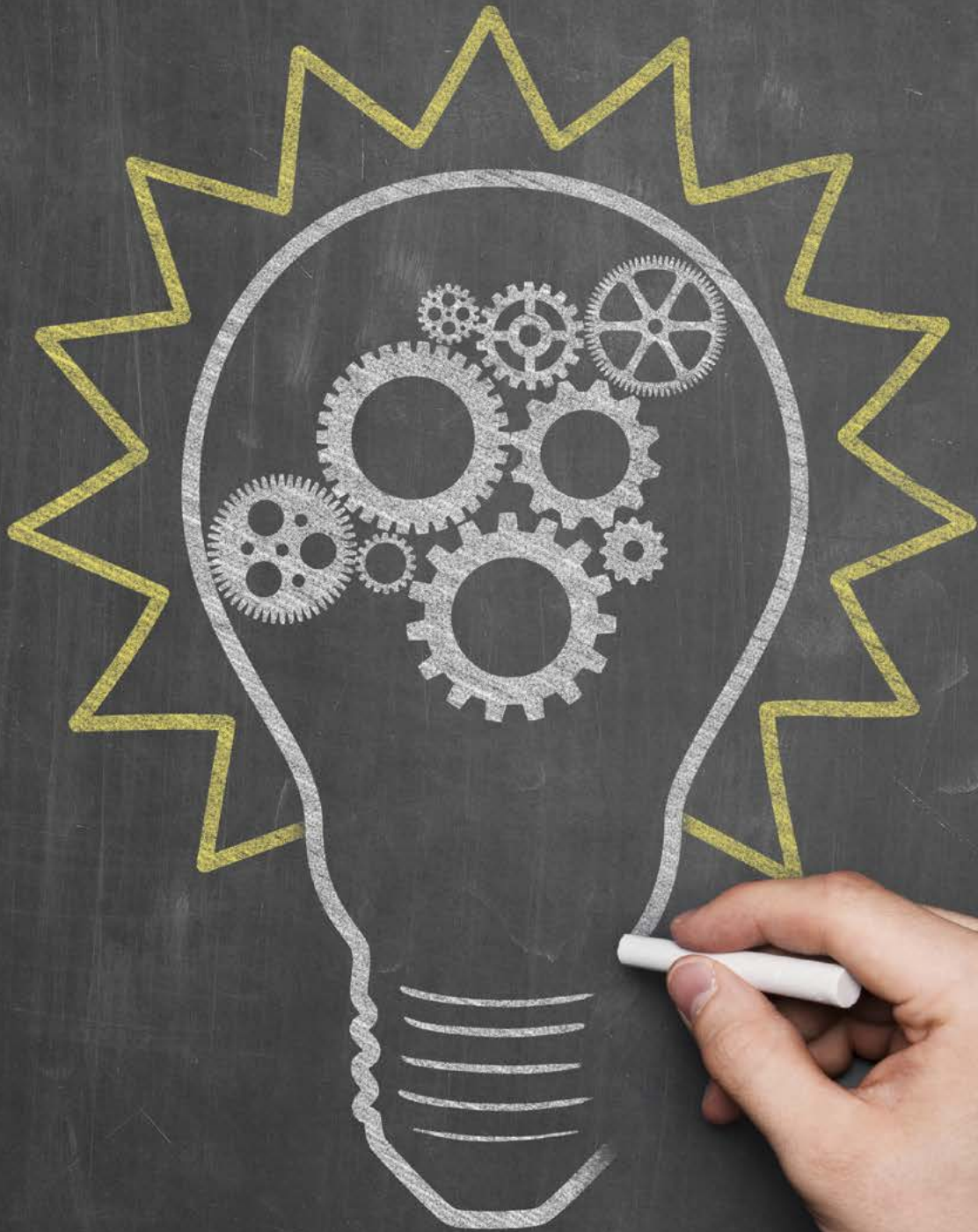


schwer imitierbarer Kundenmehrwert und im Ergebnis Kundenzufriedenheit geschaffen werden. Obwohl bereits durch das Angebot von Smart Services Wettbewerbsvorteile realisiert werden können, empfiehlt sich zunächst eine systematische Neupositionierung der Geschäftstätigkeiten, die sich in unterschiedlichen datenbasierten Geschäftsmodelltypen widerspiegeln können. So sollten Werkzeugbaubetriebe vor der eigentlichen Entwicklung von Smart Services ihre bestehende strategische Ausrichtung überdenken und die zukünftige Ausrichtung definieren. Hierbei gilt es, unterschiedliche Kriterien, wie bspw. die

Wettbewerbsstrategie, den Marktzugang, die Marktsicherheit sowie die Kundensegmente und die Integrationstiefe in den jeweiligen Ausprägungen zu bestimmen.

Der Umgang mit mangelnden Mitarbeiterkompetenzen im Bereich der Advanced Data Analytics und des Cloud Computings ist bereits früh im Strategieprozess zu adressieren, da dadurch maßgeblich die datenbasierte Wertschöpfung gestaltet wird. Ähnlich zu anderen Kompetenzen lassen sich auch diese extern am Markt beschaffen oder auch ganzheitlich in den Werkzeugbau internalisieren.

Think Big



Zusammenfassung & Ausblick

Die vierte industrielle Revolution wird als wesentlicher Treiber zur Erreichung der notwendigen Agilität und Wandlungsfähigkeit für den Erhalt und den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen produzierenden Industrie angesehen. Dabei wird diese, genau wie die industriellen Revolutionen zuvor, die Industrie nachhaltig verändern. Über Jahrzehnte entwickelte Prozesse, die Organisationsstrukturen, das Arbeitsumfeld sowie auch das angebotene Produkt- und Leistungsspektrum werden sich in diesem Zuge radikal verändern. Um als Werkzeugbaubetrieb in einem solch dynamischen Umfeld auch in Zukunft erfolgreich agieren zu können, müssen sich Werkzeugbaubetriebe dieser Revolution nicht nur annehmen, sondern diese aktiv zur Generierung von Wettbewerbsvorteilen gestalten.

Die Analyse der Branche Werkzeugbau hat verdeutlicht, dass vielen Betrieben die Bedeutung von Industrie 4.0 zwar bewusst ist, es vielfach aber an konkreter Umsetzung mangelt. Um sich zwischen den teilweise sehr abstrakten und wenig konkreten Anwendungen von Industrie 4.0 wiederzufinden, gilt es, die Ausprägungen von Industrie 4.0 zu verstehen und unternehmensspezifisch zu adressieren. Der Werkzeugbau Navigator soll in diesem Zusammenhang konkrete Handlungsfelder des agilen Werkzeugbaus der Zukunft formen und Werkzeugbaubetriebe bei der Identifikation und Umsetzung möglicher Industrie 4.0-Anwendungen unterstützen. Hierzu wurden in vier zentralen Handlungsfeldern der Einsatz von Industrie 4.0-Lösungen im Werkzeugbau analysiert. Hierbei handelt es sich um die Organisationsstruktur als Grundlage einer jeden Unternehmung, die Innovation als zentralen Befähiger herausragender Produktlösungen, den Shopfloor als den zentralen Ort der Wertschöpfung sowie die ganzheitlichen Produktlösungen, die dem Kunden nachhaltig einen Mehrwert bieten. Innerhalb dieser Felder wurde der Status quo des Werkzeugbaus basierend auf der Analyse relevanter Themenbereiche bestimmt. Daraus leitet sich der Readiness-Index ab, der den Reifegrad der Imple-

mentierung von Industrie 4.0-Lösungen im Werkzeugbau verglichen mit einem Zielzustand definiert.

Smart Organization

Das Wissen der Mitarbeiter ist für den Werkzeugbau von elementarer Bedeutung und wird im Zuge von Industrie 4.0 in seiner Relevanz weiter zunehmen. Das Ziel der Smart Organization ist es daher, Wissen systematisch aufzubauen und vorhandenes Wissen effizienter und personenunabhängiger einzusetzen. Dazu muss in der Organisation verfügbares Wissen über den impliziten Charakter hinaus weitergegeben und in sogenannten Wissensplattformen hinterlegt werden. Zum Aufbau neuen Wissens, eignen sich vor allem dynamische Kollaborationsnetzwerke, die sowohl intern als auch extern verschiedene Entitäten unterschiedlichen Hintergrunds zusammenbringen. Parallel muss der Mitarbeiter zu einem „Unternehmer im Unternehmen“ weiterentwickelt werden, der nicht ausschließlich starren Handlungsanweisungen folgt, sondern das Unternehmen eigenverantwortlich voranbringt.

Smart Innovation

Sich verkürzende Produktlebens- und -entwicklungszyklen werden den Werkzeugbau auch in Zukunft vor Herausforderungen stellen und ein zentrales Kriterium in der Auftragsvergabe darstellen. Dabei wird der zukünftige Produktentwicklungsprozess auf Kundenseite neben einer grundsätzlichen Zeitverkürzung auch von häufigeren Iterationen im Sinne der agilen Entwicklung gekennzeichnet sein. Das Ziel der Smart Innovation ist es daher, dem Kunden den beschleunigten Weg zum Produkt zu ermöglichen und mit dem Einbringen von Know-how zu begleiten. Um diese Erfolgsfaktoren realisieren zu können, ergeben sich drei zentrale Handlungsempfehlungen. Zum einen muss sich der Werkzeugbau früh in die Entwicklungsprozesse des Kunden integrieren, um den Innovationsgrad zu erhöhen und ein fertigungsgerechtes Design sicherzustellen. Zudem muss dieser Mach-

barkeitsstudien durchführen und das Produkt kostenseitig optimieren. Begleitet wird der Innovationsprozess durch den Einsatz neuer Technologien, um eine frühe Validierung von Werkzeugkonzepten auf Basis von Prototypen zu ermöglichen.

Smart Shopfloor

Der Shopfloor als zentraler Wertschöpfungsort ist elementar für eine effiziente Fertigung und Montage der Werkzeuge. Um in dem Spannungsfeld aus demografischem Wandel und verkürzten Durchlaufzeiten zu bestehen, werden in Zukunft vermehrt die Automatisierung und neuste Kommunikationstechnologien zum Einsatz kommen. Das Ziel des Handlungsfelds des Smart Shopfloors ist es dementsprechend, Werkzeugbaubetriebe bei der Umgestaltung des häufig noch traditionell ausgerichteten Shopfloors zu unterstützen. Zentrale Erfolgsfaktoren werden hier die Aufnahme, Analyse und Visualisierung von Daten sein, um die Mitarbeiter in Ihren Entscheidungen und der Abwicklung von Aufträgen zu unterstützen. Das digitale Management von Ressourcen und Aufträgen ermöglicht zudem eine echtzeitnahe Kapazitätsplanung und kann so bei der Auswahl von Fertigungsstrategien, Priorisierungen und der Einplanung von Eilaufträgen unterstützen. Der Einsatz von Zukunftstechnologien wie Augmented Reality gibt zudem sinnvolle Hilfestellungen bei der Montage oder Qualitätskontrolle und kann Fehler und Durchlaufzeiten deutlich reduzieren.

Smart Solutions

In Zeiten zunehmender Kollaboration zwischen dem Werkzeugbau und seinen Kunden verschwimmt die Grenze zwischen Produkt und Dienstleistung zunehmend. So kommt es auch im Werkzeugbau dazu, dass vom Kunden nicht ein spezifisches Produkt, sondern eine ganzheitliche Lösung angefragt wird. Da die Problemstellungen zunehmend an Komplexität gewinnen, bedarf es der digitalen Veredelung traditioneller Werkzeuge durch die Erweiterung um Sensorik und Datenverarbeitung. Folglich muss sich der

Werkzeugbau in diesem Bereich zur Generierung eines nachhaltigen Kundennutzens neu positionieren. Werkzeuge werden zur Effizienzsteigerung der gesamten Produktion vermehrt mit anderen Produktionsmaschinen vernetzt und die Werkzeugfunktionalität durch den Einsatz von Sensorik und Aktorik geregelt. Die Möglichkeit zur Analyse von in der Werkzeugnutzung angefallenen Daten zur Prognose von Ausfällen und der Bestimmung optimaler Fertigungsparameter erweitert zudem die Funktionalitäten eines Werkzeugs deutlich. Begleitet wird die Smart Solution von einer frühzeitigen Erkennung von Branchen- und Technologietrends, um dem Kunden stets eine state-of-the-art Lösung anbieten zu können. Vergleicht man die Potenziale von Industrie 4.0 im Bereich der Smart Solutions mit dem aktuellen Implementierungsgrad, so stellt man unweigerlich fest, dass bisher nur ein geringer Anteil ausgeschöpft wird.

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass zur Sicherung der nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit zukünftig der deutsche Werkzeugbau dem disruptiven Charakter von Industrie 4.0 auf Organisationsstrukturen, den Innovationsprozess sowie die Wertschöpfung und das Leistungsportfolio vorbereitet begegnen und die Möglichkeiten proaktiv implementieren muss. Gemäß dem Motto „Stillstand heißt Rückschritt“ gilt es, sich durch die Implementierung sinnvoller Verbesserungen Wettbewerbsvorteile zu wahren und diese weiter auszubauen.

Autoren



Dr. Wolfgang Boos

Geschäftsführer
WBA Aachener Werkzeugbau Akademie



Michael Salmen

Leiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Advan Begovic

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Christoph Kelzenberg

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Felix Stracke

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Unsere Studien



Smart Tooling
2016



Erfolgreich Finanzieren
im Werkzeugbau
2016



Tooling in Turkey
2016



Tooling in China
Spritzgusswerkzeugbau
2016



Erfolgreich Digital Vernetzen
auf dem Shopfloor im Werkzeugbau
2016



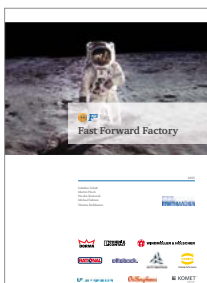
Tooling in Germany
2016



Erfolgreich Mitarbeiter Motivieren
im Werkzeugbau
2016



Fast Forward Tooling
2015



F³ Fast Forward Factory
2015



World of Tooling
2015



Erfolgreich Kalkulieren
im Werkzeugbau
2015



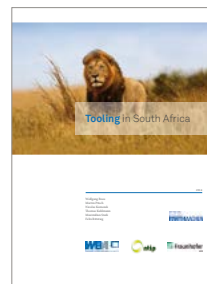
Erfolgreich Planen im Werkzeugbau
2015



Getaktete Fertigung
im Werkzeugbau
2015



Tooling in China
Gießblech- und Massivumformung
2015



Tooling in South Africa
2014



Herausgeber

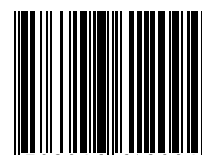
Werkzeugmaschinenlabor WZL

der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
Steinbachstraße 19
D-52074 Aachen
www.wzl.rwth-aachen.de

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Karl-Friedrich-Straße 60
D-52072 Aachen
www.werkzeugbau-akademie.de

978-3-946612-09-4



9 783946 612094