



Wettbewerbsfaktor Resilienz

Handlungsfelder für den
krisensicheren Werkzeugbau

2021

Wolfgang Boos
Daniel Trauth
Kristian Arntz
Marcel Prümmer
Philipp Niemietz
Marcel Wilms
Christian Lürken
Johannes Mayer



im Auftrag von:



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



**WBA
WERKZEUGBAU
AKADEMIE**

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

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



Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen vereint Wissen und Erfahrung in allen Feldern der Produktionstechnik. In den Bereichen Prozesstechnologie, Produktionsmaschinen, Mechatronik, Produktionsmesstechnik und Qualität sowie Technologiemanagement bietet das IPT Projektpartnern und Auftraggebern individuelle Speziallösungen und unmittelbar umsetzbare Ergebnisse für die moderne Produktion. In Zusammenarbeit mit dem dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen und der WBA führt das Fraunhofer IPT Benchmarkingprojekte im Werkzeugbau durch. Der Fokus liegt hierbei auf der Bewertung der technologischen Potenziale des Werkzeugbaus.

Impressum

Wettbewerbsfaktor Resilienz. Handlungsfelder für den krisensicheren Werkzeugbau 2021
Copyright © 2021

Autoren: Wolfgang Boos, Daniel Trauth, Kristian Arntz, Marcel Prümmer,
Philipp Niemietz, Marcel Wilms, Christian Lürken, Johannes Mayer
Gestaltung: Stefanie Erkeling

ISBN: 978-3-946612-64-3

1. Edition

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Campus-Boulevard 30

D-52074 Aachen

www.werkzeugbau-akademie.de

Wettbewerbsfaktor Resilienz

Handlungsfelder für den
krisensicheren Werkzeugbau

2021

Wolfgang Boos
Daniel Trauth
Kristian Arntz
Marcel Prümmer
Philipp Niemietz
Marcel Wilms
Christian Lürken
Johannes Mayer



im Auftrag von:



Spotlight

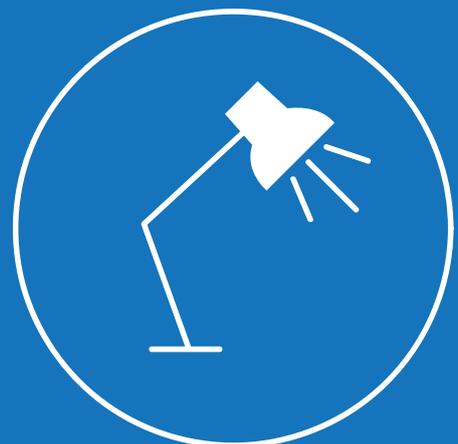
Besonders die Auswirkungen und Folgen der Covid-19-Pandemie haben global gesehen die Notwendigkeit von Resilienz sowohl in gesellschaftlicher als auch wirtschaftlicher Sicht gezeigt. Dabei ist der Begriff der Resilienz nicht neu. Resilienz beschreibt im Allgemeinen die Fähigkeit mit Krisen umzugehen und sich schnellstmöglich von deren Auswirkungen zu erholen.

Krisen treten immer wieder auf, jedoch hat die Covid-19-Pandemie hinsichtlich ihrer zeitlichen und räumlichen Wirkung alle bisherigen Krisen seit dem 2. Weltkrieg weit übertroffen. Somit hat sie auch für den Werkzeugbau weitreichende Auswirkungen. Hinzu kam die ohnehin schon sehr angespannte Situation aufgrund der Automobilkrise und dem daraus resultierenden Preisdruck.

Aus diesen Krisen heraus entstehen für den Werkzeugbau Herausforderungen auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette. Eine schnelle Anpassungsfähigkeit an neue Randbedingungen, wie die branchenunabhängige Ausrichtung des Leistungsportfolios oder eine erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit in der Fertigung, wird somit zur Pflicht und stellt nicht mehr nur die Kür dar.

Ein systematisches Resilienzmanagement kann Unternehmen und damit auch dem Werkzeugbau entscheidend dabei helfen, solche Krisen mit nur minimalen Schäden durchzustehen und sogar gestärkt daraus hervorzugehen. Hierfür sind jedoch einige Methoden und Mechanismen sowohl in der Unternehmensstrategie als auch in der Unternehmensphilosophie zu verankern.

Die Studie „Wettbewerbsfaktor Resilienz – Gestärkt durch Krisen“ thematisiert diese Methoden und Mechanismen und stellt ein Zielbild für den resilienten Werkzeugbau mit Handlungsfeldern in den Dimensionen »Leistungsspektrum«, »Ressourcen«, »Prozess« und »Mitarbeitende« vor.



7 große Wirtschaftskrisen

... gab es seit dem 2. Weltkrieg
(erste Ölkrise 1973,
zweite Ölkrise 1979,
Asienkriege 1997,
Dotcom-Blase 2000,
Bankenkrise 2007,
Eurokrise 2010,
Corona-Krise 2020)

30 %

... betrug der Produktions-
einbruch von Toyota nach dem
Tsunami 2011

410 Mio. €

... kosten Produktions-
stillstände in der Automobil-
industrie pro Woche

8,2 %

... betrug der Einbruch der
Inlandsproduktion deutscher
Automobilproduzenten im
Jahr 2020 (VDA)

22,6 %

... beträgt der geschätzte
Umsatzrückgang der Prä-
zisionswerkzeugbranche in
Deutschland aufgrund der
Covid-19-Pandemie im Jahr
2020 (VDMA)

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung Seite 7
	Resilienzmanagement Seite 11
	Zielbild des resilienten Werkzeugbaus Seite 21
	Dimension Leistungsspektrum Seite 25
	Dimension Ressourcen Seite 29
	Dimension Prozess Seite 35
	Dimension Mitarbeitende Seite 45
	Messbarkeit von Resilienz Seite 49
	Zusammenfassung Seite 59

Einleitung

Die vorliegende Studie ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsprojektes »Spaicer« entstanden und wurde von der senseering GmbH gemeinsam mit dem Fraunhofer IPT und der WBA Aachen erstellt. Bei der Erstellung der Studie wurde der Themenkomplex des Resilienzmanagements im Werkzeugbau erarbeitet. Hierzu werden relevante Kennzahlen abgebildet und ein Einblick in den Status quo, die Potenziale sowie Herausforderungen eines ganzheitlichen, datengetriebenen Resilienzmanagements gegeben. Nach einer Begriffsdefinition und Erläuterung des Resilienzmanagements folgt ein Zielbild für den Werkzeugbau, welches geeignete Kennzahlen zur Messung der unternehmensindividuellen Resilienz sowie datenbasierte Resilienzservices erläutert. Anschließend werden in der Studie Handlungsfelder in den Dimensionen Leistungsspektrum, Ressourcen, Prozess und Mitarbeitende detailliert vorgestellt.

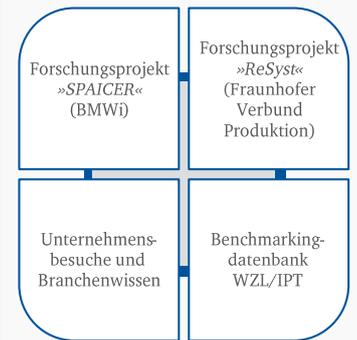
Studiendesign

Die theoretischen Grundlagen dieser Studie stützen sich auf die Erkenntnisse zweier Forschungsprojekte, an welchen die Forschungsinstitute des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University und des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT maßgeblich beteiligt sind. Das durch den Innovationswettbewerb „Künstliche Intelligenz als Treiber für volkswirtschaftlich relevante Ökosysteme“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Projekt SPAICER forciert ein datengetriebenes Ökosystem, in welchem sog. KI-gestützte, smarte Resilienzservices zu einer Vorhersage von Störungen und optimierten Anpassung der Produktionsplanung auf jene Störungen im Maschinenbau befähigen [1]. Konkret ist die Feinschneidtechnologie Forschungsgegenstand des WZL.

Am Beispiel von Störungen, die in der Wertschöpfungskette dieser Technologie auftreten, soll die Resilienz feinschneidender Unternehmen erhöht werden.

Zusätzlich stützt sich die Studie auf das vom Fraunhofer Verbund Produktion initiierte Innovationsprogramm „Resiliente Wertschöpfungssysteme (ReSyst)“ an dem 17 Fraunhofer-Institute aus dem Bereich der Produktionstechnik teilnehmen. Im Innovationsprogramm wird der Begriff der Resilienz von der Unternehmensstrategie, über Produktionssysteme bis hin zu einzelnen Fertigungstechnologien untersucht und Handlungsempfehlungen in einem Rahmenmodell zusammengefasst.

Branchenbezogene Kennzahlen aus dem Werkzeugbau basieren hierbei auf der gemeinsamen Datenbank des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen und des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT. Diese Kennzahlen sind zurückzuführen auf den jährlich stattfindenden Wettbewerb »Excellence in Production« (EiP) zum Werkzeugbau des Jahres und umfassen die Betrachtungsperiode der vergangenen fünf Jahre (2016 bis 2020). Insgesamt umfasst die Datenbank über 1.000 verschiedene Datensätze deutschsprachiger Werkzeug- und Formenbaubetriebe und mehr als 2.500 Datensätze internationaler Werkzeugbaubetriebe und ermöglicht so fundierte und quantifizierbare Aussagen über die Struktur und Trends in der gesamten Branche Werkzeugbau. Ebenfalls fließt das Branchenwissen der Werkzeugbauexperten von WZL, Fraunhofer IPT und der WBA in die Studie ein, welches durch zahlreiche Unternehmensbesuche, Industrieprojekte, Expertengespräche und verschiedene Forschungsprojekte einen umfassenden Einblick in die Branche Werkzeugbau gewährleisten kann.



Einführung in den Begriff Resilienz

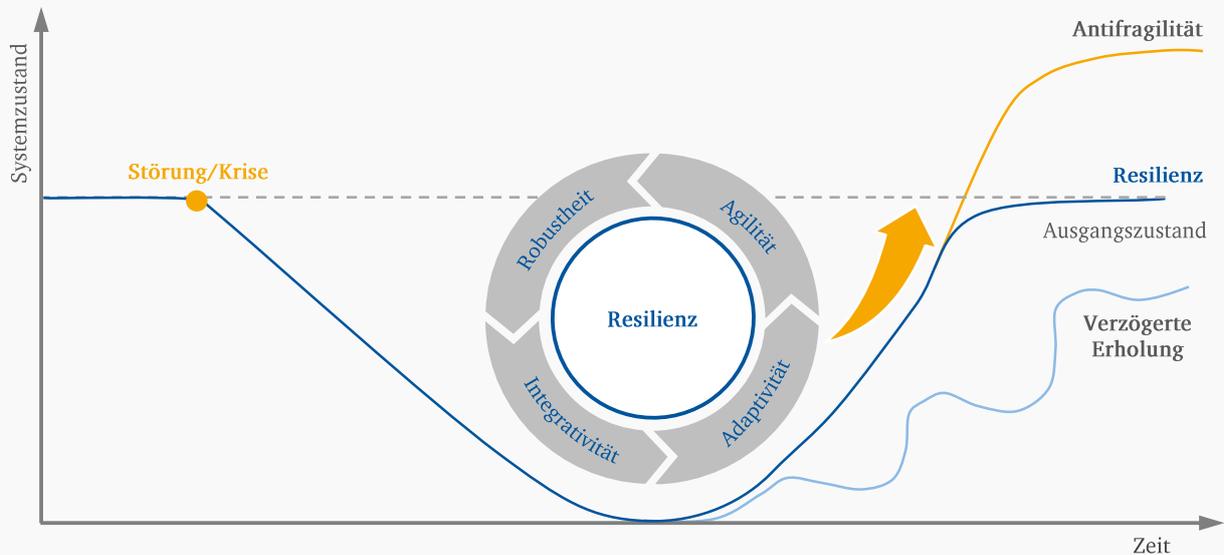
Der Begriff Resilienz, auch als Widerstandsfähigkeit bezeichnet, ist psychologischen Ursprungs und beschreibt die Fähigkeit eines Menschen, außergewöhnliche Belastungen und "nicht-normative" Risiken unbeschadet als erwartet bewältigen zu können [2]. In Krisensituationen funktioniert der Mensch auf Basis persönlicher und sozial vermittelter Ressourcen (Schutzfaktoren) trotz diverser Belastungsfaktoren gesund, adaptiv und/oder integrativ. Er nutzt das Event als Anlass zur Entwicklung. Resilienz ist weder ausschließlich eine angeborene Fähigkeit noch einzig das Ergebnis von äußeren Einflüssen. Vielmehr entwickelt sie sich über die Zeit und ist erlernbar. Dieser Vorteil ist der Grund dafür, dass der Begriff Resilienz auch auf andere Fachgebiete außerhalb der Psychologie übertragen werden kann.

Im Kontext der Produktion bedeutet Resilienz die Rückkehr zu einem Ausgangszustand bzw. das Erreichen eines neuen, wünschenswerten Zustands nach dem Eintritt einer Störung. Diese Fähigkeit vereint verschiedene Faktoren, welche im Werkzeugbau bereits Anwendung finden. Die Einführung eines Resilienzmanagements bedeutet für den Werkzeugbau demzufolge keine Umstrukturierung oder Abkehr von existenten Strategien, sondern lediglich eine ganz-

heitliche Betrachtung und Verknüpfung der einzelnen Elemente zu einer Handlungsweise der Leitung, Organisation und Planung.

Die treibende Kraft der Resilienz ist infolge dessen eine bereits eingetretene Störung. Die Eigenschaft Resilienz vereint die Prinzipien der Robustheit und Agilität [3]. Während robuste Produktionssysteme unbeeinflusst von wechselnden Umgebungen oder Betriebsbedingungen die beabsichtigte Funktionalität liefern können, zeichnen sich agile Systeme durch die Fähigkeit aus, schnell auf bspw. marktseitige Veränderungen reagieren zu können, sowohl hinsichtlich des Volumens als auch der Vielfalt der Produkte. In Anlehnung an die Definition der Resilienz des Menschen tragen neben robusten und agilen auch adaptive und integrative Produktionssysteme dazu bei, nach einer Störung in den Ausgangszustand zurück zu gelangen. Die Adaptivität beschreibt die Anpassung des Designs eines Produktionssystems an positive oder negative Veränderung der Umwelt, um den strukturellen Veränderungen auf den Märkten gerecht zu werden und das Versorgungsnetzwerk in Bezug auf Strategien, Technologien und Produkte zu verändern [4]. Der Begriff integrative Produktion basiert auf der Kombination von Forschungsansätzen aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen und führt zu einem ganzheitlichen Ansatz

Prinzipien der Resilienz

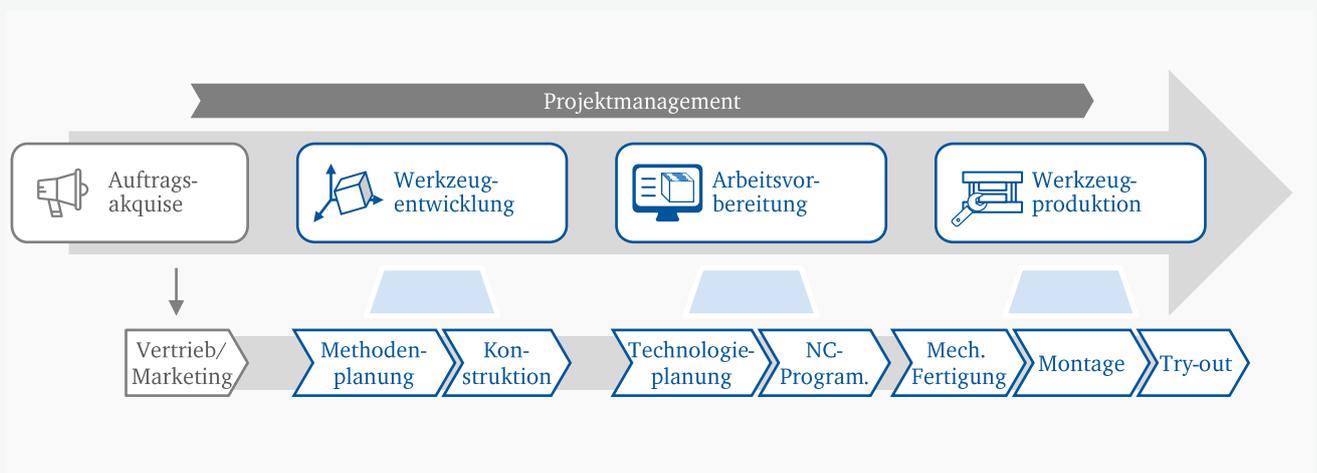


zur Auflösung des Polylemmas in der Produktion, bestehend aus Planungs- und Produktionswirtschaftlichkeit. Auf dem Weg zur Integrativität ist die Globalisierung und ihre einhergehenden Veränderungen bspw. als Chance und nicht als Bedrohung zu betrachten. Im vorliegenden Kontext ist dieser Aussage hohe Bedeutung zuzuordnen, da die Globalisierung als Treiber von Produktionsprozessstörungen gilt. Das Konzept der „Antifragilität“, als Antonym der Fragilität, beschreibt die Fähigkeit eines komplexen Systems vom Volatilität, Zufälligkeit und Stressoren zu profitieren.

Auftragsabwicklungsprozess im Werkzeugbau

Der Werkzeugbau ist geprägt durch den Einzel- und Kleinseriencharakter. Die vom Kunden beauftragten Werkzeuge sind hierbei in der Regel Unikate. Diese hohe Varianz muss der Werkzeugbau durch eine flexible Organisationsstruktur abbilden. So ist unter anderem das Projektmanagement ein wichtiger Teil des Aufgabenfeldes im Werkzeugbau, da die Kundenaufträge einen Projektcharakter aufweisen. Der Wertschöpfungsprozess im Werkzeugbau beginnt – je nach Marktzugang – mit der Akquisition von neuen Werkzeugprojekten. Darauf folgt die Methodenplanung und Konstruktion des Werkzeugs und der einzelnen Komponenten. Anschließend wird in der Arbeitsvorbereitung die Einplanung der Fertigungskapazitäten vorgenommen.

In der CAM-Programmierung werden die NC-Programme für die Maschinen erstellt und simuliert. Anschließend beginnt die Werkstückbearbeitung in der mechanischen Fertigung zur physischen Erstellung der Werkzeugkomponenten. Nach der Qualitätsprüfung werden die Werkzeugkomponenten in der Montage zu einem funktionsfähigen Werkzeug zusammengesetzt. Vor Auslieferung an den Kunden muss in der Werkzeugqualifizierung die Qualität der zu produzierenden Teile durch Erprobung und finale Anpassungen abgesichert werden. Diese Vielzahl an Aufgaben und Prozessschritten, welche zur Leistungserbringung zu bewältigen sind, müssen in ein Zielbild für den resilienten Werkzeugbau mit einbezogen werden. Zwar sind die meist kleinen und mittelständischen Unternehmen im Tagesgeschäft krisenerprobt (z. B. sehr späte Design-Änderungen durch den Kunden, ungeplante Maschinenstillstände, Eilaufträge oder Liquiditätsprobleme aufgrund des hohen Materialinvestments vor Erhalt erster Zahlungen), dennoch sind verschiedene Handlungsfelder zu adressieren, um die Krisensicherheit und Stabilität des Betriebes weiter zu erhöhen. Hierfür werden für die Branche Werkzeugbau in dieser Studie entsprechende Trends und Themen aufgezeigt, die vor dem Hintergrund der Digitalisierung der Produktion in Zukunft zu verfolgen sind, um die langfristige Resilienz in der Werkzeugfertigung weiter steigern zu können.





Resilienz durch Transparenz

Mehrere tausend Sensoren in und am Flugzeug sorgen dafür, dass zu jeder Zeit der Status eines Flugzeugs ermittelt werden kann und jede noch so kleinste Veränderung registriert wird.



Resilienzmanagement

Sowohl das Risiko- als auch das Resilienzmanagement sind Konzepte zum zielgerichteten Umgang mit Krisensituationen, welche in einem Unternehmen koexistieren sollten [5]. Das Risikomanagement befähigt einen Produzenten vor dem Eintritt einer Störung sämtliche Risikofaktoren zu identifizieren, zu analysieren und zu bewerten, um sie anschließend in Form der Akzeptanz, Verminderung oder Vermeidung zu bewältigen [6]. Risikofaktoren werden hierzu hinsichtlich des potenziellen Schadensausmaßes und der erwarteten Eintrittswahrscheinlichkeit beurteilt. Ursachenbezogene Maßnahmen dienen der Minimierung der Eintrittswahrscheinlichkeit, wirkungsbezogene Regelungen sollen das Ausmaß des bereits eingetretenen Schadens reduzieren. Die wachsende Bedeutung eines standardisierten Risikomanagements wird anhand der im Jahr 2018 veröffentlichten deutschen ISO-Norm DIN ISO 31000 ersichtlich, welche die Effektivität und Wirkung der Umsetzung eines derartigen Prozesses erhöhen soll. 2020 bewerteten 68 % der deutschen Unternehmen das Risikomanagement in ihren Unternehmen als gut bis sehr gut, 60 % sahen jedoch großes Optimierungspotenzial hinsichtlich der Risikosteuerung, -kultur und -bewertung.

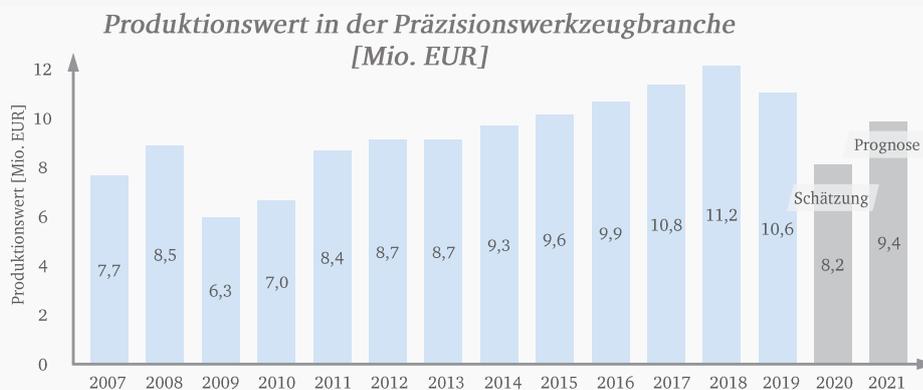
Das Resilienzmanagement hingegen ermöglicht produzierenden Unternehmen die Belastbarkeit ihres Produktionssystems und ihrer Prozesse sowie ihrer Lieferketten gegenüber äußeren Einflüssen nach Eintreten einer Störung zu stärken. Im Fokus stehen die Fähigkeit zur kurzfristigen Rückkehr zu der als Standard definierten Funktionsfähigkeit und

die innovative Nutzung von Vorteilen, die sich aus Veränderungen der Umweltbedingungen ergeben. Je geringer die Effekte von Störungen auf die Produktion sind, desto höher ist die Resilienz eines Unternehmens.

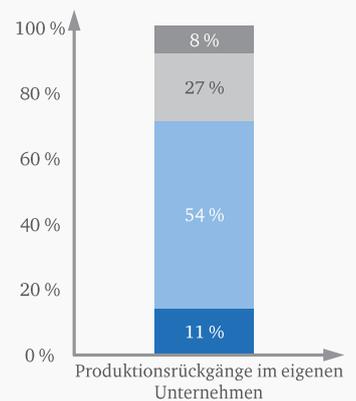
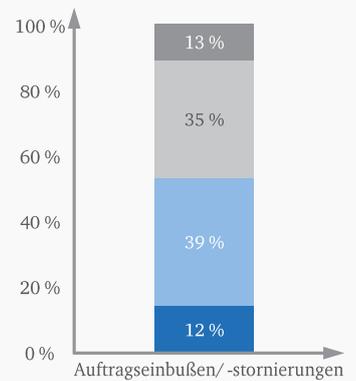
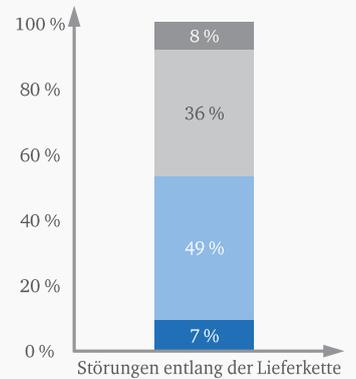
Resilienztreiber

Produzierende Unternehmen unterliegen diversen Störungen unterschiedlicher Ursache oder Vorhersehbarkeit und gelten daher als sehr fragil. Sowohl interne als auch externe Störungen beeinträchtigen den Produktionsablauf und machen aufgrund der nötigen Anpassungsfähigkeit an komplexe, sich schnell verändernde Produktionsnetzwerke ein ganzheitliches Risiko- oder Resilienzmanagement erforderlich. Industrieunternehmen zufolge sind ihre Abläufe gelegentlich bis regelmäßig von Störungen betroffen (73 %). Ein Stillstand der Produktion infolge von Störungen, Platz 1 im Allianz Risk Barometer 2021 [7], kann dabei schnell Kosten im dreistelligen Millionenbereich verursachen [8].

Das Pandemiejahr 2020 infolge des Virus Sars-CoV-2 offenbarte weltweit, wie fatal die Auswirkungen einer unvorhergesehenen Störung sein können und zeigte die Bedeutung eines strategischen Risiko- und Resilienzmanagements. Globale Grenzkontrollen und -schließungen, Lieferengpässe und Produktionsstillstände prägten die globale Industrie [9]. An den deutschen Grenzen zu Polen und Österreich kam es zu Wartezeiten von bis zu 20 Stunden. Die wirtschaftlichen Folgen sowie deren Zeithorizont waren und sind infolge des zeitlichen Versatzes der Ausbreitung und der resultierenden Maßnahmen

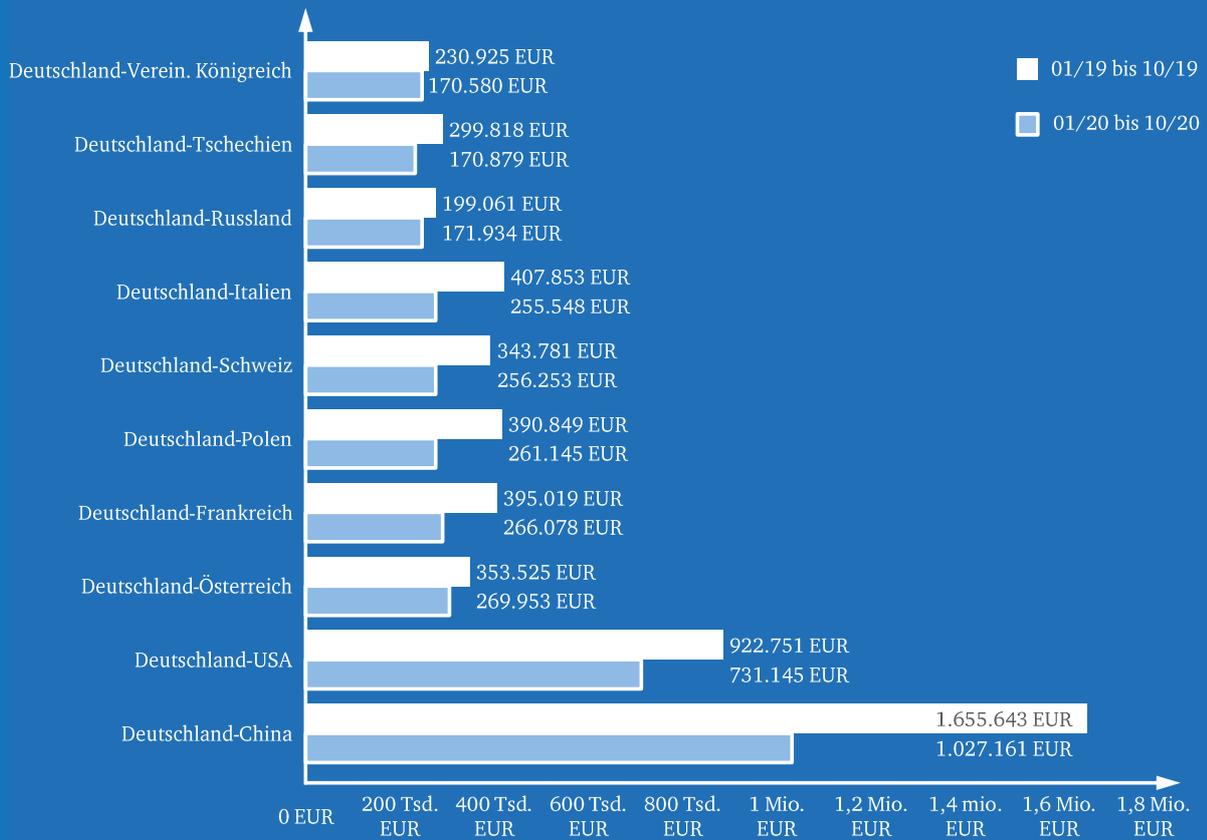


Beeinträchtigungen infolge von Corona im März 2020 [%]

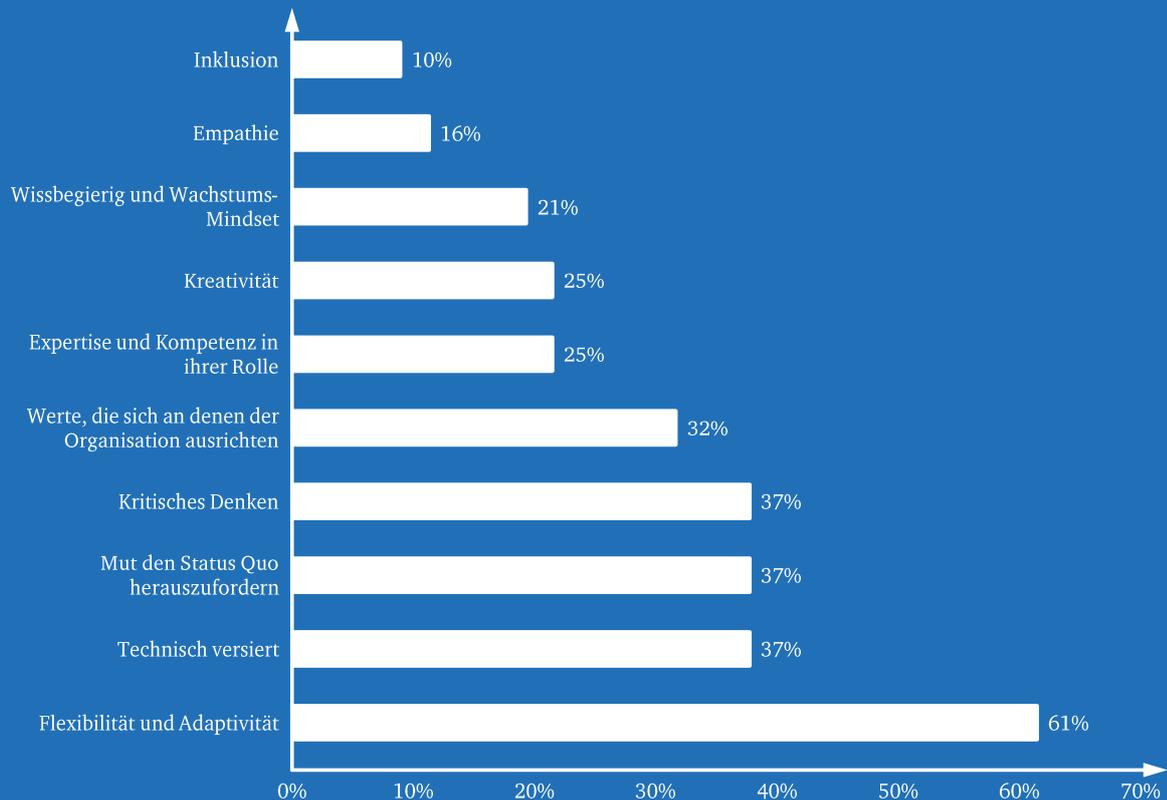


- Keine
- Gering
- Merklich
- Gravierend

Entwicklung der deutschen Werkzeugbau-Exporte [€]



Wichtige Mitarbeitereigenschaften



schwer abzuschätzen. Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) errechnete den Rückgang der Produktion und kam bei einem Wert zwischen -12 % und -14 % zu dem schlechtesten Ergebnis seit der Finanzkrise 2009. Die Auswirkungen im Werkzeugbau waren noch verheerender. Der Produktionswert der Präzisionswerkzeuge sank um 2,4 Mio. EUR im Vergleich zum Vorjahr (-22,6 %) [10]. Die deutschen Werkzeugbau-Exporte in die bedeutendsten Partnerländer befanden sich zwischen Januar und Oktober signifikant unterhalb der Vorjahresstatistik. Insbesondere die Ausfuhren nach China fielen auf ein Rekordtief um -38 %. Die Gründe für derartige Folgen sind vielfältig. Einerseits ist der Werkzeugbau aufgrund seiner Kundenserviceorientierung prädestiniert dafür, dass Abnahmen und Einarbeitungsvorgänge mit entsprechendem Fachpersonal vor Ort unerlässlich sind. Infolge der Kontaktbeschränkungen und Reiseverbote führte vor allem dieses Merkmal des Werkzeugbaus zu schwerwiegenden wirtschaftlichen Folgen. Nicht abgenommene, bereits fertiggestellte Werkzeuge führten zu erhöhten Lagerkosten und ausbleibenden Erlösströmen, um die eigene Liquidität zu schützen. Zusätzlich wirkte sich das zögernde Verhalten der Werkzeugabnehmer aufgrund der sinkenden Nachfrage erst mit Zeitverzug auf den Werkzeugbau aus. Zur Realisierung eines Risiko- und/oder Resilienzmanagements sind potenzielle Störungen vorab zu identifizieren und zu kategorisieren. Störungen können z.B. hinsichtlich ihres Ursprungs nach intern und extern unterschieden werden. Externe Störungen, wie die Corona-Pandemie, sind keine Einzelercheinungen und haben infolge der Globalisierung an Häufigkeit und Schadenshöhe neue Dimensionen angenommen. Die Ölkrise von 1973 führte infolge des Öl-Embargos zu Produktionsrückgängen von ca. 20 % und einem Anstieg der Arbeitslosigkeit um 370 %. Die Finanzkrise 2008

resultierte in Rückgängen innerhalb der Produktion von 43 %, Exporteinbrüchen um 30 % und ebenfalls zu Massenarbeitslosigkeit. Um zumindest derartige, personenbezogene Auswirkungen zu vermeiden, wurde während der Corona-Pandemie die Kurzarbeit als Maßnahme von Bund und Ländern ermöglicht. Im Vergleich zur Automobilindustrie mit 94 % der Unternehmen, die Kurzarbeit als probates Mittel zum Schutz der Mitarbeitenden forcierten, musste der deutsche Maschinenbau mit „nur“ 48 % auf diese Maßnahme zurückgreifen [11]. In Summe kann festgehalten werden, dass die produzierende Industrie im Vergleich zu anderen Branchen wie bspw. Tourismus und Gastronomie „glimpflich“ durch die Corona-Krise gekommen ist.

Deutsche Industrieunternehmen erwarten, dass Störungen des Ausmaßes der Corona-Pandemie zu 53 % gelegentlich innerhalb der nahen Zukunft erneut auftreten könnten [12]. Vier von zehn Unternehmen sind der zukünftigen deutschen Konjunktur gegenüber sogar pessimistisch eingestellt. Systematische Veränderungen des Marktes infolge innovativer, disruptiver Technologien, wie bspw. der 3D-Druck, unerwartete Veränderungen im Nachfrageverhalten und innerhalb der Lieferketten oder die erhöhte Volatilität der Politik- und Finanzsysteme (Strafzölle, Wirtschaftskrisen ...) können exemplarisch für derartige externe Störfaktoren beschrieben werden. Die öffentliche Forderung nach Nachhaltigkeit und Qualität der Produkte bei minimalem Preis und maximaler Individualität steigert den Druck auf komplikationsfreie Abläufe der Fertigungsprozesse. Intern sind die Prozessabläufe im Werkzeugbau bspw. hinsichtlich der Versorgung mit Werkstoffen unzureichender Qualität, Fertigungsprozesseffizienzen (bspw. infolge von Schäden an Maschinen), Stromausfälle oder Überlastung und Krankheiten von Mitarbeitenden

Anteil der Unternehmen, die Kurzarbeit infolge der Corona-Pandemie einführen mussten

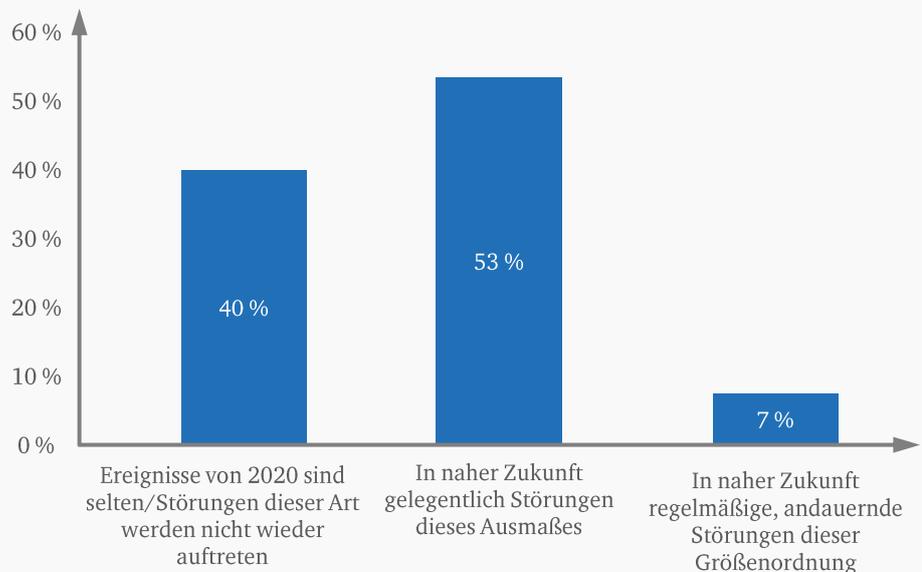


gefährdet. Abseits des Ursprungs können Störungen in folgende vier Kategorien strukturiert werden, auf Grundlage derer ein geeigneter Managementansatz gewählt werden kann. Systemstörungen können mithilfe einer Risikoanalyse antizipiert und aufgrund bekannter Lösungen behoben werden (z.B. Maschinenausfall). Mit Flexibilität und Adaptivität sowie technischer Versiertheit, welche von Chief Experience Officers (CXOs) als die wichtigsten Resilienzeigenschaften der Mitarbeitenden eingestuft werden, können derartige Störungen bewältigt werden [12]. Designstörungen hingegen bieten nicht das Potenzial einer ausreichenden Vorbereitung. Sie erfordern Erfahrung bei der Systemanpassung, da die Störung außerhalb der aktuellen Systemfähigkeit liegt (z. B. Inputmaterial niedriger Qualität).

Betrifft eine Störung weder die Systemfähigkeit noch das Design, führt jedoch zu einer dauerhaften Veränderung des Produktionssystems, kann sie der Kategorie der extrinsischen Störungen zugeordnet werden. Verzögerungen der Materialanlieferung können exemplarisch dieser Art von Störung

zugeordnet werden. Die Knappheit von Halbleitern oder die Verfügbarkeit von Seltenen Erden können als Beispiel für diese Störkategorie angeführt werden. Einzelercheinungen müssen individuell behandelt werden, da sie weder planbar sind, noch zu einer dauerhaften Veränderung des Produktionssystems führen (z. B. politische Entscheidungen). Der Brexit kann als Störung der Kategorie der Einzelercheinungen behandelt werden. Prognosen erwarten einen Rückgang der sektoralen Wertschöpfung für den Maschinenbau von 0,5 % (Hard Brexit) bzw. 0,1 % (Soft Brexit). Bei einem jährlichen Umsatz von 229 Mrd. EUR beträgt dies Einbußen von ca. 1,145 Mrd. EUR bzw. 229 Mio. EUR. Die Vielzahl potenzieller Störungen ist groß, sodass eine ganzheitliche Identifikation aller Störungen kaum zu realisieren ist. Es kommt erschwerend hinzu, dass kürzere Technologie- und Produktlebenszyklen und sich schnell ändernde Kundenanforderungen immer weniger Zeit gewähren, um qualitätsoptimierte Logistik- und Produktionsketten aufzubauen und auf Störungen zu reagieren. Eine vernetzte, datengetriebene Produktion führt zur Notwendigkeit von schnelleren Umrüst- und Lernprozessen. Zudem kann durch

Erwartungen an Störungen in naher Zukunft [%]

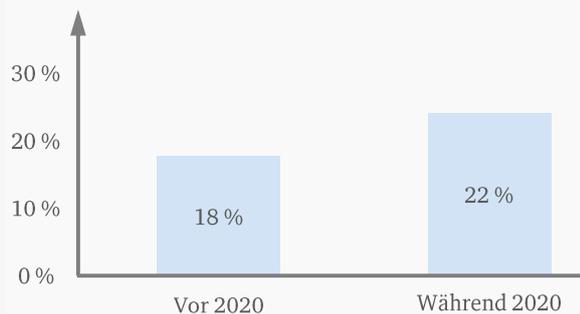


den zunehmenden Einsatz digitaler Technologien und vernetzter Systeme in cyber-physischen Produktionssystemen ein Ausfall in einem Teilsystem zu einer Störung in einem anderen Teilsystem oder im schlimmsten Fall zu einem kompletten Stillstand des gesamten Produktionsprozesses führen. Damit steigt die Anfälligkeit für Störungen, Fehler und Systemausfälle. Im Falle von Prozessstörungen müssen jedoch Entscheidungen in kurzer Zeit getroffen werden, um die Auswirkungen von Ausfällen und Störungen auf den Produktionsprozess zu minimieren und ein stabiles Produktionsergebnis und Liefertreue zu gewährleisten. Bedingt durch den erheblichen Komplexitätszuwachs und die zunehmende Störungsanfälligkeit in der Produktion durch die datengetriebene Vernetzung wird das Resilienz-Management zu einem unabdingbaren Erfolgs- und Wettbewerbsfaktor in Produktionsunternehmen. Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz sind, insbesondere in globalen Wertschöpfungs-Netzwerken mit vielfältigen Beziehungen und Abhängigkeiten, ein

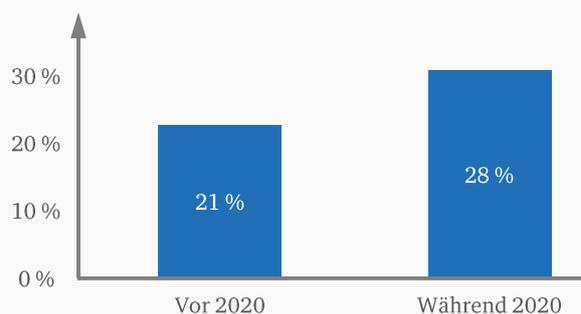
entscheidendes Differenzierungsmerkmal. Resilientes Management ist grundsätzlich keine Neuheit für den Werkzeugbau.

Die Prinzipien der Robustheit, Agilität, Integrität und Adaptivität werden schon seit längerem individuell fokussiert. Die ganzheitliche Betrachtung der einzelnen Prinzipien, die sich verändernde Umgebung des Werkzeugbaus und das neue Potenzial datengetriebener Technologien machen jedoch eine tiefere Untersuchung unerlässlich. Dies belegt auch der Deloitte Resilience Report 2021. Während 2020 fühlten sich nur 28 % der deutschen CXO bereit, das Unternehmen durch Ungewissheiten und Störungen zu führen. Vor 2020 belief sich der Anteil auf nur 21 %. Eine schnelle Anpassungsfähigkeit an Störungen konnten 2020 nur 22 % (vor 2020: 18 %) für sich bestätigen [12]. Ein Resilienzmanagement auf verschiedenen Dimensionen legt die Grundlagen für einen geeigneten Umgang mit Ungewissheiten und Störungen.

Schnelle Anpassungsfähigkeit an Störungen [%]

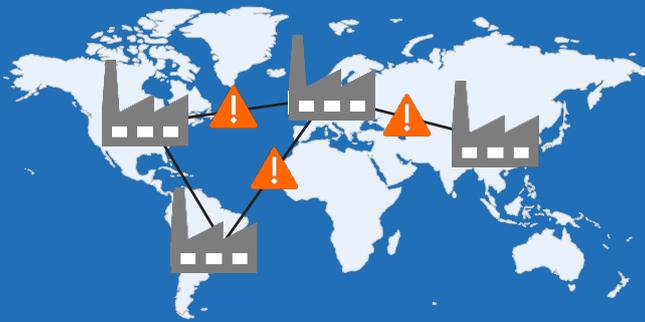


Anteil der CXO, die sich bereit fühlen, das Unternehmen durch Ungewissheiten und Störungen zu führen [%]



Makro-Resilienz

wertschöpfende Lieferketten oder Industrienetzwerke



Lieferkettenausfälle
Streiks
Rohstoffmangel

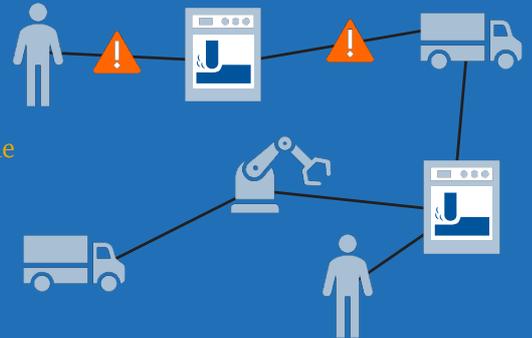
Resilienzmanagement

Bewertung bereichsübergreifender Alternativen, um die Fähigkeiten eines Systems zu verbessern



Meso-Resilienz

Wertschöpfungskette oder Unternehmen



Materialprobleme
Falscher Betrieb



Toleranzen
Experteneinstellungen
Fehlerbehebung

Mikro-Resilienz

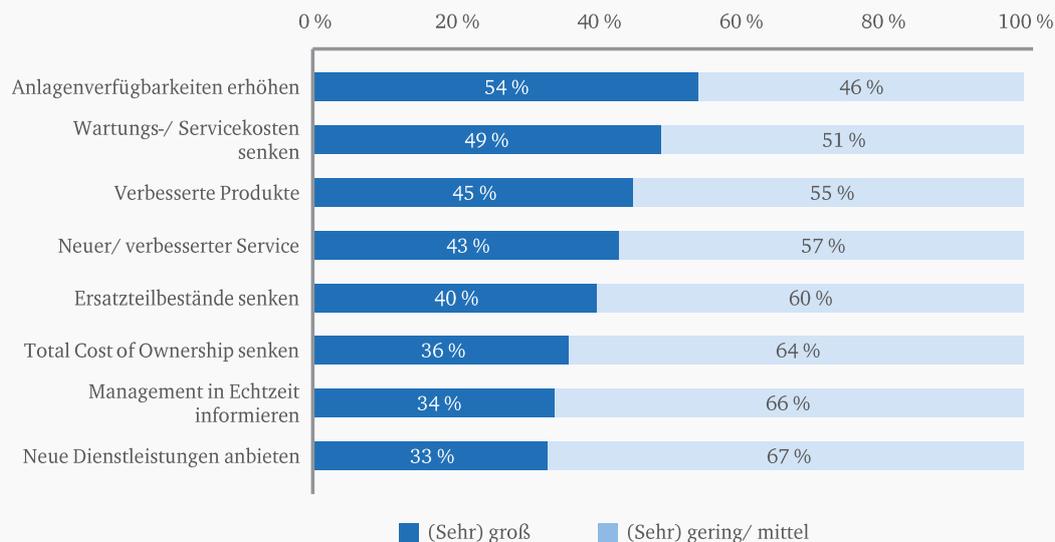
Wertschöpfungskette oder Unternehmen

Dimensionen der Resilienz

Das Ziel eines Resilienz-Managements ist es, Entscheidungsträger und Mitarbeitende dabei zu unterstützen, Störungen bestmöglich zu erkennen und zu behandeln [13]. Jede Störung kann als Chance betrachtet werden, ein Produktionssystem optimal auf veränderte Marktbedingungen auszurichten und Wettbewerbsvorteile abzuleiten. Es werden dabei zwei Typen des Resilienz-Managements für einen effektiven Umgang mit Störungen unterschieden. Reaktives Resilienzverhalten bezeichnet den Einsatz von Gegenmaßnahmen nach dem Auftreten einer Störung, um in einen bevorzugten Produktionszustand zurück zu gelangen. Treten mehrere Störungen innerhalb kürzester Zeit auf, kann dies komplexe kritische Situationen oder gar neue Systemausfälle verursachen. Nach Behebung von Störungen mittels des reaktiven Resilienzmanagements müssen übermäßige Ressourcen auf ein stabileres und wirtschaftlicheres Niveau zurückgeführt werden (bspw. zusätzliches Personal). Antizipatives Resilienzverhalten

befähigt ein produzierendes Unternehmen, Störungen vor Auftreten zu identifizieren. Zentrales Element ist das Ableiten und Prognostizieren von Störungen in Form von Mustern und Trends mithilfe von Datenanalysen. Auf Basis einer robusten, verständlichen und qualitativ wertigen Prognose sowie mithilfe des frühzeitigen Erkennens von Störungsmustern aus Produktionsdaten können Produktionsplanungen und -ausführungen über die Systemhierarchie ERP, MES und SPS umgeplant und optimiert werden. Die Analyse von Prozess-, Mess- und Maschinendaten zur Vorhersage und vorbeugenden Instandhaltung wird zum aktuellen Zeitpunkt von 48 % der Unternehmen forciert. Die Datenanalyse befähigt aktuell zum automatischen Abruf von Ersatzteilen, zur Disponierung von Servicetechnikern und Optimierung von Produkten. Die Erwartungen an die Nutzenpotenziale weisen eine deutlich größere Vielfalt auf. Beide Resilienztypen sind eng miteinander verknüpft und liefern für die Produktionsplanung und -steuerung eine differenzierte Wissensbasis.

Wie groß schätzen Sie folgende Nutzenaspekte durch Predictive Maintenance für Ihr Unternehmen ein?



Erkenntnisse aus reaktiven Verhaltensmaßnahmen ermöglichen das Ableiten von Resilienzwissen und erhöhen somit die Antizipationsfähigkeit. Der Umgang mit den großen Datenmengen in der Produktion und dem hohen Grad an dynamisch veränderlichen Wechselwirkungen übersteigt etablierte Softwaresysteme und die kognitiven Kompetenzen von Entscheidungsträgern. Der Einsatz KI-basierter Ansätze und die Datenerhebung in Echtzeit kann dazu beitragen, die Wettbewerbsfähigkeit substantiell zu erhöhen. Die Verarbeitung unternehmensinterner Datenquellen kann als reaktives Resilienzmanagement bezeichnet werden, da sich potenzielle Störungen bereits im Unternehmen befinden. Werden jedoch zusätzlich große, dynamisch veränderliche, externe Datenmengen aus Bereichen wie Meteorologie, Verkehr oder Nachrichtenmeldungen untersucht, um Trends und Muster abzuleiten, welche sich außerhalb der Unternehmensprozesse entwickeln, wird von antizipativem Resilienzmanagement gesprochen. Das Resilienzmanagement im psychologischen Kontext wird hinsichtlich der Schutz- und Belastungsfaktoren in folgende Bereiche strukturiert [12]:

- Kultur (Makrosystem)
- Gesellschaft (Exosystems)
- Unmittelbare Umgebung (Mesosystem, z. B. Nachbarschaft, Schule etc.)
- Familie (Mikrosystem)
- Individuum

In Analogie an die Psychologie kann ein resilientes Management innerhalb eines produzierenden Unternehmens in drei systematische Ebenen strukturiert werden. Auf der sog. Makro-Ebene sind die Planungshorizonte netzwerkbezogen, auf der Meso-Ebene unternehmensweit und auf der Mikro-Ebene lokal orientiert [14].

Makro-Resilienz (Unternehmensgruppe)

Das Resilienzmanagement auf Makro-Ebene betrifft das gesamte Produktionsökosystem. Störungen wie Strafzölle, EU-Ein- oder Austritte und der demografische Wandel beeinflussten den Werkzeugbau infolge der zunehmenden Vernetzung der Unternehmen der letzten Jahre stark. Die Konsequenz von sich verändernden Vorschriften bspw. bezüglich der Ein- und Ausfuhr von Produkten (z. B. Rohstoffe) waren verspätete Anlieferungen. Je kurzfristiger die Information über derartige Störungen das Unternehmen erreichen, desto eher scheidet die Anpassung des Produktionssystems durch die fehlende Abstimmung zwischen Supply Chain Management und Fertigung, sodass Produktionsverzögerungen oder -stillstände die Konsequenz sein können. Eine weitere Herausforderung der Produktion auf Makro-Dimension ist die Fertigung von Produkten ausschließlich auf Basis von tatsächlichen Bestellungen. Hierzu werden Studien mit historischen Daten gekauft bzw. Umfragen ausgewertet und anschließend analysiert. Dieses Vorgehen verspricht jedoch keine verifizierbaren Ergebnisse.

Die Analyse und Trendprädiktion von Daten aus Branchenstatistiken, Social Media, Nachrichtenmeldungen, Verkehr oder Wetterstationen unterstützen den Werkzeugbau dabei, sich verändernde Vorschriften bei der Ein- und Auslieferung, neue Kundenwünsche oder Aufschwungsszenarien frühzeitig aufzudecken und das Produktionssystem rechtzeitig anzupassen. Ausfälle und Stillstandzeiten können durch die Nutzung verfügbarer Datensätze minimiert werden.

Meso-Resilienz (Produktionsstätte)

Die Meso-Resilienz-Ebene umfasst sämtliche Wertschöpfungseffekte in der eigenen Produktion, welche aufgrund von etwaigen Qualitätsproblemen bei der Rohmaterial- oder Werkzeugversorgung gestört werden. Zum jetzigen Zeitpunkt existiert wenig bis kein Datenaustausch (Messdaten, Bauteilbeurteilungen...) über die Unternehmensgrenzen hinweg zwischen den Kunden und den Werkzeugbauunternehmen. In Abhängigkeit des Zeitpunkts der Reklamation schreitet der Fertigungsprozess jedoch weiterhin voran, ohne angepasst zu werden. Die Produktion kann somit infolge des fehlenden Datenaustauschs nicht optimiert werden und die innerhalb dieses Zeitraums produzierten Werkzeuge genügen nicht dem Anforderungsprofil der Kunden. Auch die Parametereinstellung bspw. neuer Fräsmaschinen kann ohne eine zugrundeliegende Informationsbasis nicht optimiert werden. Eine Datenerhebung, -anonymisierung und -analyse sowie deren Handel entlang der Lieferkette erhöht die Resilienz bezüglich Maschinenstörungen und Ausschuss bzw. Reklamationen. Für einen Datenaustausch zwischen den Vertragspartnern ist das Speichern in einem Data Warehouse oder einen Data Lake empfehlenswert. Neben Produktoptimierungen können KPI ermittelt und geteilt werden, um die Maschinen bestmöglich zu parametrisieren. Zur Wahrung des Datenschutzes ist das Löschen der geteilten Daten nach einer definierten Zeit möglich.

Mikro-Resilienz (Shopfloor)

Die Resilienz auf Shopfloorlevel wird in der Mikro-Ebene organisiert. Ein unternehmensinternes Resilienzmanagement erhöht die Zuverlässigkeit von kritischen Prozessschritten infolge unerwarteter Prozessstörungen. Der Betrachtungsschwerpunkt liegt auf den operativen Aufgaben innerhalb eines einzelnen Produktionsschrittes und dessen Verarbeitungszielen, wie Werkstoffprüfungen oder Maschinenwartungen. Die Instandhaltung im Werkzeugbau kann mit Stillstand der Fertigung und somit Kosten einhergehen. Bei einer Fehlermeldung wird das beschädigte Element gesichtet und anschließend entsprechende Maßnahmen eingeleitet. Zusätzlich erfolgt das Einstellen der Parameter einer Anlage im Maschinenbau häufig auf Basis von Erfahrungswissen und gegebenen Standards. Wenn die Erzeugnisse nicht in Ordnung sind, erfolgt per Trial-and-Error-Verfahren die Anpassung der Parameter, bis der erforderliche Zustand erreicht wurde. Die Sammlung und Analyse von Prozess-, Sensor- und Simulationsdaten ermöglicht eine Vorabauslegung der Maschinen und Prozesse sowie die zielgerichtete Definition von Wartungsintervallen. Direkte maschinenlesbare und automatisierte Rückmeldungen über die Toleranzmaße, Rauheitsvorgaben, Werkstoffqualität sowie Sensordaten, wie bspw. bezüglich der Stöße und Temperatur, lassen Aussagen bzgl. der Produktqualität zu und ermöglichen eine sofortige Korrektur bei Fehlern. Auf Basis der Analyse der aufgenommenen Kräfte und Körperschallsignale wird bei einer Abweichung automatisch eine Meldung versandt.



Resilienz durch Schutz

Die in der Ming-Dynastie (1386-1644) errichteten chinesischen Mauern haben eine Gesamtlänge von 21.196 km und hatten einen großen Einfluss auf den Erfolg des chinesischen Kaiserreichs.

Zielbild des resilienten Werkzeugbaus

Der Werkzeugbau ist turbulenten Veränderungen ausgesetzt. Die Anzahl, das Ausmaß und die Auswirkungen potenzieller Störungen nehmen durch zahlreiche Treiber, wie die voranschreitende Globalisierung und steigende Vernetzung, zu. Die Reaktionszeit nimmt hingegen aufgrund der kürzeren Technologie- und Produktlebenszyklen sowie den volatilen Kundenanforderungen ab. Ein erfolgreiches Resilienzmanagement erfordert zunächst die Identifikation der signifikanten Herausforderungen im Werkzeugbau.

Herausforderungen im Werkzeugbau

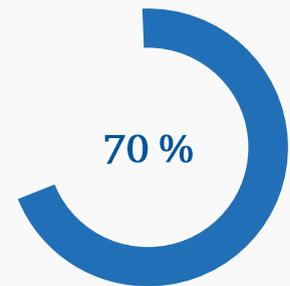
Enge Margen, hoher Preis- und Qualitätsdruck, der Zwang einer kurzen Time-to-market und hoher Flexibilität trotz des hohen Anteils an Eilaufträgen und geringe Wiederholhäufigkeiten wirken herausfordernd für den deutschen Werkzeugbau und machen ihn störanfällig.

Technologische Umbrüche in den Absatzbranchen, wie die Forcierung der Elektromobilität der Automobilindustrie, führen zu Unsicherheit und fehlender langfristiger Planungssicherheit. Das Produktportfolio des Werkzeugbaus wird durch die zukünftige Ausrichtung der Absatzbranchen bestimmt. Eine unklare Positionierung seitens der Abnehmer beeinträchtigt die Auftragslage des Werkzeugbauers. Eine große Herausforderung ist es, langfristig / strategisch eine geeignete Diversität der Kunden und ihrer Branchen zu schaffen, um von konjunkturellen Schwankungen und Störungen unabhängig zu agieren.

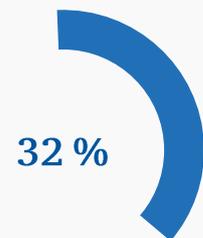
Ein effizienter Umgang mit Störungen basiert neben den strategischen Vorgaben auf der Kompetenz der Mitarbeitenden sowie auf der Nutzung datengetriebener Möglichkeiten zur unternehmensinternen und -übergreifenden Vernetzung. Der Einsatz neuartiger und leistungsfähiger Technologien zum Zweck des Datenmanagements wird für den deutschen Werkzeugbau neben der Qualität seiner Pro-

dukte essenziell für die Wettbewerbsfähigkeit und Steigerung der Resilienz sein. Eine Vernetzung schafft Abhilfe bzgl. der mangelnden Transparenz hinsichtlich der Auftrags- und Ressourcendaten und legt den Grundbaustein für eine Einbindung des Werkzeugbaus direkt bei Produktentstehung. Späte Designänderungswünsche müssen bereits im Werkzeugbau berücksichtigt werden und machen eine Datendurchgängigkeit von der Konstruktion über die Fertigung bis zur Qualitätssicherung verpflichtend. Das Datenmanagement befähigt ein reaktions-schnelles Handeln. Dennoch ist die Implementierung der Technologien in das bestehende Ökosystem eines Unternehmens sowie die Bereitstellung und Analyse von Daten eine Herausforderung für den Werkzeugbau. 70 % der deutschen Unternehmen bewerten die Integration von Industrial Internet of Things (IIoT)-Lösungen in die bestehenden Workflows als größtes Defizit. Den Vorteilen steht die Sorge vor einem Verlust von Wettbewerbsvorteilen und geistigem Eigentum (IP: intellectual property) ein großes Hemmnis bei der Umsetzung digitaler Technologien gegenüber. Zusätzlich gilt eine unzureichende Infrastruktur als Hindernis zur Verarbeitung großer Datenmengen (32 % der Maschinenbauunternehmen).

Situationsverschärfend ist es, dass eine Steigerung der Diversität und Reaktionsschnelligkeit im Zuge einer Resilienzoptimierung das Prinzip der Kostenneutralität nicht torpedieren darf. Die Herausforderung besteht darin, ein Optimum an Resilienz zu finden, sodass ausreichende, aber keine ausufernde Resilienz vorgehalten wird. Zu geringe Resilienz macht den Werkzeugbau anfällig für Störungen, wohingegen eine zu hohe Resilienz zu viele Ressourcen ohne Wertschöpfung bindet. Folglich müssen Maßnahmen des Resilienzmanagements analog zu anderen Ressourcen, wie bspw. Mitarbeitende, Finanzen, Maschinen und Verarbeitungsmaterialien, geplant, eingeführt, gesteuert, optimiert und weiterentwickelt werden.



Anteil der deutschen Unternehmen, der die Integration von IIoT-Lösungen als größere Herausforderung sieht



Anteil der Maschinenbauer, der eine unzureichende Infrastruktur als Hindernis von Big Data sieht

Bezugnehmend auf die Steigerung der Resilienz ist eine weitere Herausforderung die Messbarkeit von Resilienz. Das Erheben eines Status quo der Resilienz und eine zielgerichtete Optimierung des Resilienzmanagements ist aufgrund fehlender Kenngrößen aktuell nicht vorgegeben oder normiert. Die Herausforderungen für den Werkzeugbau können klar adressiert werden. Ein strategisch verankertes Resilienzmanagement erhöht die Belastbarkeit und kann zukünftig als Marketinginstrument fungieren. Das Image eines Unternehmens, welches trotz potenziell eingetretener Störungen unmittelbar nach der Beeinträchtigung zu einem funktionsfähigen Ausgangszustand zurückgelangen kann, eignet sich als Differenzierungsmerkmal im Wettbewerb.

Vorab sind jedoch einerseits die Messbarkeit der Resilienz mithilfe ausgewählter Key Performance Indizes (KPI) zu definieren, sodass eine Verbesserung des Managements und eine Dynamisierung der Strategie möglich sind. Andererseits müssen die Potenziale datengetriebener Resilienzservices aufgezeigt und die notwendigen Voraussetzungen beschrieben werden. Im Nachgang werden einzelne Handlungsfelder in den Dimensionen Leistungsspektrum, Ressourcen, Prozess und Mitarbeitende detailliert vorgestellt. Der Werkzeugbau erhält mit dieser Studie einen Leitfaden zur Messung und Optimierung der eigenen Resilienzfähigkeit in verschiedenen Dimensionen.

Zielbild resilienter Werkzeugbau

Das Zielbild des resilienten Werkzeugbaus konkretisiert insgesamt 16 Handlungsfelder, welche die Branche zukünftig adressieren muss, um sich krisensicher im globalen Wettbewerb aufzustellen und mit Blick auf die aktuellen Trends sowie politischen und gesellschaftlichen Entwicklungen zukunftsorientiert auszurichten. Aus Sicht des Werkzeugbaus werden die Handlungsfelder in den vier branchenspezifischen Dimensionen Leistungsspektrum, Ressourcen, Prozess und Mitarbeitende einsortiert. Aus Sicht des Resilienzmanagements wiederum sind die Handlungsfelder der Makro-, Meso- und Mikro-Ebene zuzuordnen.

Auf der übergeordneten Makro-Ebene werden Handlungsfelder aufgezeigt, welche die unternehmerische Ausrichtung eines Werkzeugbaus beeinflussen und standortübergreifend adressiert werden sollten. Darunter fallen Aspekte wie die Kundenstruktur und das Lieferantenmanagement, aber auch das unternehmerische Commitment zu einem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen im eigenen Betrieb sowie einer ökologischen Auslegung der eigenen Produkte. Weiterhin wird das Datenmanagement entlang der Wertschöpfungskette als Handlungsfeld herausgestellt, welches aufzeigt, warum auch Werkzeugbaubetriebe Daten entlang des Auftragsabwicklungsprozesses sammeln müssen. Da insbesondere das Arbeitsumfeld einen großen

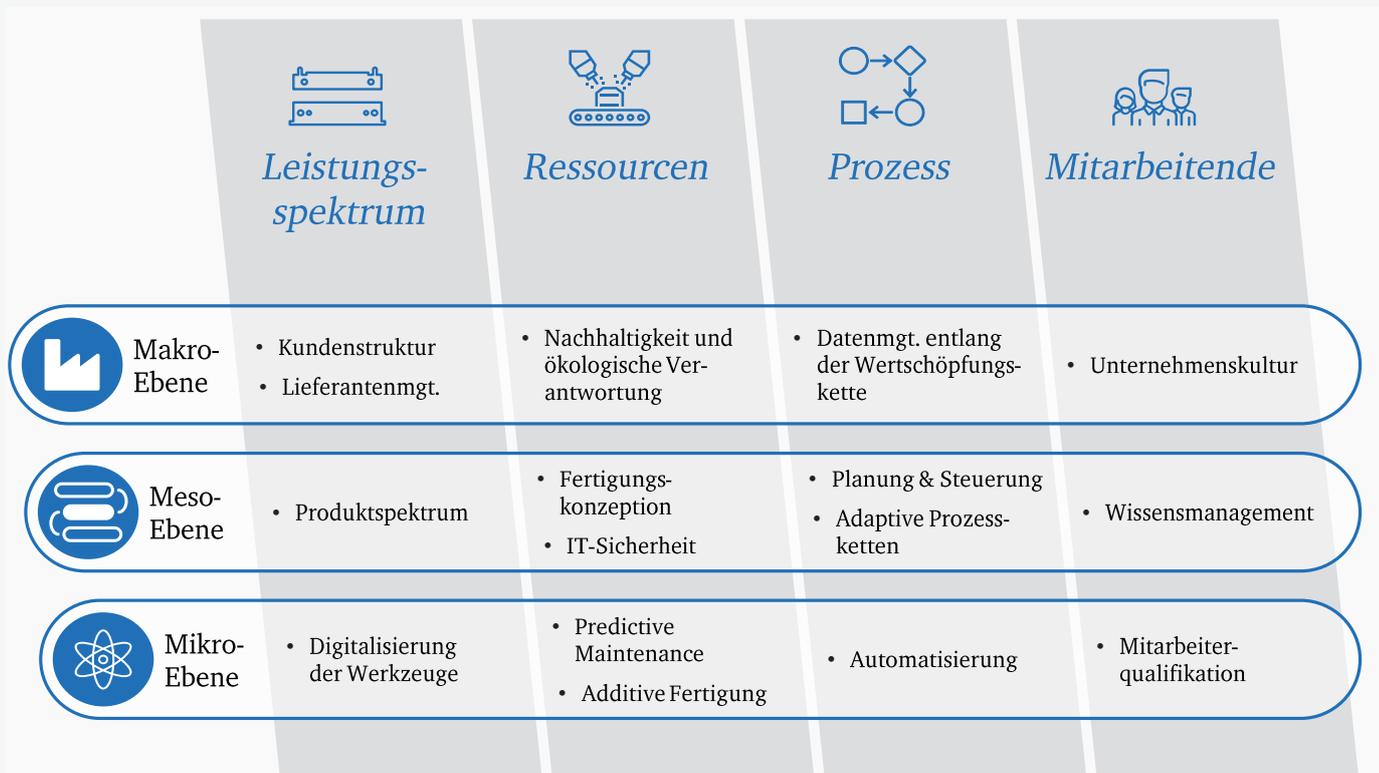
Einfluss auf die Motivation und Leistungsfähigkeit der Mitarbeitenden hat, wird abschließend die Unternehmenskultur als resilienztreibendes Handlungsfeld erläutert.

Auf Meso-Ebene werden die Handlungsfelder Produktspektrum und Fertigungskonzeption ausdetailliert, welche maßgeblich die Ausrichtung und eines Werkzeugbaus widerspiegeln. Weiterhin wird vor dem Hintergrund der steigenden Vernetzung von Ressourcen und Prozessen im Zuge der Digitalisierung auch die IT-Sicherheit ein Aspekt, welcher zunehmend an Bedeutung gewinnt. Ebenfalls sind die Planung und Steuerung der Werkzeugprojekte zu betrachten sowie Ansatzpunkte zur Realisierung von adaptiven Prozessketten zur Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit des Werkzeugbaus. Des Weiteren gilt es, ein anforderungsgerechtes Wissensmanagement im Werkzeugbau über die funktionalen Organisationseinheiten hinweg umzusetzen.

Auf Mikro-Ebene werden die Digitalisierung der Produkte des Werkzeugbaus, nämlich der

Werkzeuge selber, beleuchtet und die damit einhergehende Steigerung des Kundennutzens zur Resilienzsteigerung beim Kunden und für den Werkzeugbau erläutert. Ebenfalls wird der Vorteil des Predictive Maintenance für die Werkzeugmaschinen in der mechanischen Fertigung aufgezeigt sowie die Möglichkeiten des Einsatzes additiver Fertigungsverfahren dargelegt. Die Automatisierung der mechanischen Fertigung auf Mikro-Ebene ist ein weiteres Handlungsfeld zur Steigerung der Resilienz im Werkzeugbau. Mitarbeiterseitig ist auf dieser Ebene die Qualifikation des Personals zu betrachten, welche zur Krisenbewältigung zwingend notwendig ist und konsequent gefördert werden sollte.

Diese 16 Handlungsfelder, welche in der vorliegenden Studie aufgezeigt werden, stellen einen Auszug und erste Ansatzpunkte für das Resilienzmanagement in der Branche Werkzeugbau dar, um eine stabile, krisensichere Unternehmensausrichtung unter Berücksichtigung der branchenindividuellen Rahmenbedingungen realisieren zu können.





Resilienz durch Antizipation

Der richtige Umgang mit Informationen aus den eigenen Reihen hätte die Auswirkungen des Dieselskandals drastisch reduzieren können.

Leistungsspektrum

Das Leistungsspektrum bildet die erste Dimension innerhalb des resilienten Werkzeugbaus. Durch das angebotene Leistungsspektrum positioniert sich der Werkzeugbau am Markt und generiert auf dieser Basis seine Umsätze. Klassischerweise werden unter dem Begriff des Leistungsspektrums die produzierten Werkzeuge selbst und zusätzliche Dienstleistungen zusammengefasst, welche durch den Werkzeugbau angeboten werden. Bezogen auf die Wertschöpfungskette wird unterschieden zwischen vor- und nachgelagerten Dienstleistungen. Beispiele für vorgelegte Dienstleistungen sind die Bauteilberatung oder die Bauteiloptimierung. Nachgefragt werden jedoch primär nachgelagerte Dienstleistungen, wie bspw. die Werkzeugreparatur und -instandhaltung oder die Anlaufbegleitung. Für einen resilienten Werkzeugbau ist es wichtig, sich mit seinem Leistungsspektrum möglichen Kunden gegenüber als Befähiger der Serienfertigung zu positionieren. Der Werkzeugbau muss in der Lage sein, sehr schnell auf angepasste Wünsche seiner Kunden zu reagieren und diese umzusetzen. Darüber hinaus muss die eigene Position auf dem Markt gestärkt werden. Für die Dimension Leistungsspektrum des resilienten Werkzeugbaus ergeben sich vier Handlungsfelder, in denen es gilt die Prinzipien der Resilienz zu verankern. Mit Hilfe von Daten aus dem Serienprozess ist der Werkzeugbau dazu in der Lage seine Services zu optimieren und dem Kunden antizipativ bereitzustellen.

Das Erweitern des Produktspektrums ohne Verluste in der effizienten Gestaltung der Wertschöpfung bildet die Grundlage für schnelles Agieren am Markt. Für einen resilienten Werkzeugbau gilt es auf ein breites Spektrum von Kunden aus verschiedenen Branchen zurückzugreifen, um branchenspezifische Krisen, wie bspw. in der Automobilindustrie, schnell zu kompensieren. Neben den eigenen Fähigkeiten und Kunden ist ein ausgeprägtes und gesichertes Lieferantenmanagement von hoher Bedeutung, um in Krisen lieferfähig zu bleiben.

Digitalisierung der Werkzeuge

Auch in Werkzeugbaubetrieben wird zunehmend die Digitalisierung fokussiert. Durch die zielgerichtete Anwendung konkreter Maßnahmen wird die Transparenz über Abläufe und Zusammenhänge erhöht. Dies kann vor dem Hintergrund der Resilienzsteigerung dazu beitragen, dass einschneidende Ereignisse früher erkannt werden. So können die Verantwortungsträger bereits im Vorfeld Maßnahmen zur Vermeidung, Absicherung oder Abschwächung des Störfalls einleiten.

Marktseitig gilt es im Werkzeugbau die Digitalisierung der Produkte voranzutreiben. Darunter ist die Ausstattung der zu fertigenden Werkzeuge mit Sensorik zu verstehen. Eine Datenauswertung während des Serienprozesses gibt hierbei Aufschlüsse über den Serienprozess, wodurch der Werkzeugbau konsequent sein Produktspektrum erweitern kann. Weiterhin können Bauteilfehler oder Verschleißerscheinungen am Werkzeug detektiert und Wartungszyklen in der Serienfertigung eingeplant werden. Die zusätzliche Erweiterung der Werkzeuge um Aktorik, welche auf Basis der gemessenen Prozesswerte selbstregelmäßig den Serienprozess nachjustiert (bspw. Schieberwege, Entlüftung oder Fülldruck) liefert den Kunden einen weiteren Mehrwert zur Befähigung der Serienproduktion. Solche Lösungen bieten bisher jedoch nur die wenigsten Werkzeugbaubetriebe ihren Kunden an.

Die Digitalisierung der Werkzeuge ist auf der Mikro-Ebene einzuordnen, da sie von Werkzeugbaubetrieben individuell und projektbezogen auf die entsprechenden Kundenbedürfnisse zugeschnitten sein müssen. Langfristig ist die generelle Anpassung des Leistungsspektrums durch konsequente Digitalisierung der Produkte von den Werkzeugbaubetrieben anzustreben.

» siehe Studie *Intelligente Werkzeuge und datenbasierte Geschäftsmodelle*

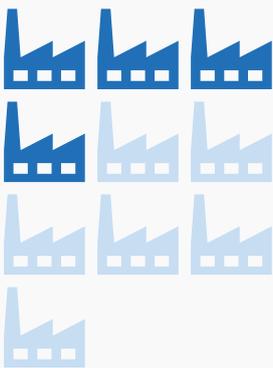


38,7 %

der Werkzeugbaubetriebe realisieren intelligente Werkzeuge durch die umfassende Ausrüstung der Werkzeuge mit Sensorik

39 %

Anteil der Werkzeugbauunternehmen, die eine Fokussierung im Produktspektrum verfolgen

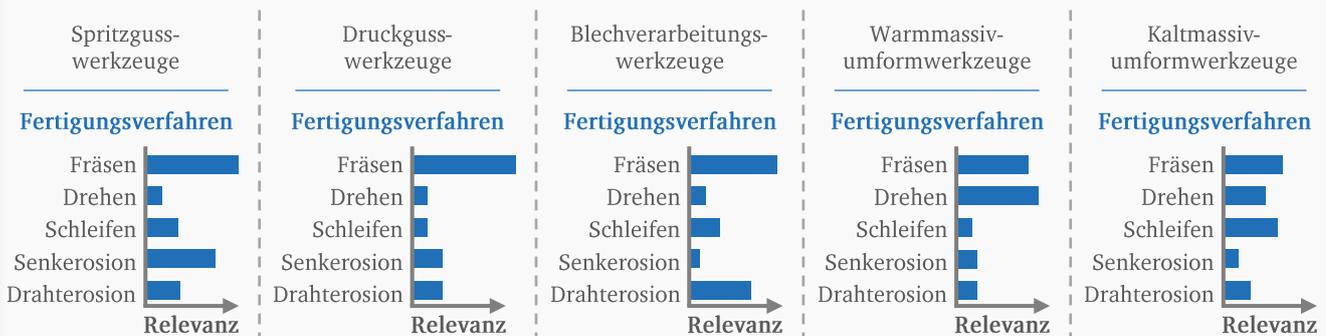


4 der EiP Top 10 im Jahr 2020 bieten mehr als eine Werkzeugart auf dem Markt an

Produktspektrum

Auf der Meso-Ebene des resilienten Werkzeugbaus ist das Produktspektrum zu betrachten, welches standortspezifisch vor dem Hintergrund der Fertigungskapazitäten und individuellen Fähigkeiten der Produktionswerke abgeleitet wird. Das klassische Paradigma im Produktspektrum zur möglichst effizienten Gestaltung aller Wertschöpfungsprozesse ist die Fokussierung. Die Fokussierung auf eine bestimmte Art von Werkzeugen bringt viele Vorteile, wie bspw. die Knowhow-Bündelung in der Konstruktion, weitreichendes Erfahrungswissen in der Arbeitsvorbereitung und ein optimal abgestimmtes Fertigungskonzept von Maschinen und weiteren Ressourcen. Vom Großteil der Werkzeugbaubetriebe (86 %) wird genau diese Fokussierung verfolgt. Im Kontrast hierzu bieten 40 % der EiP Top 10 aus dem Jahr 2020 mehr als eine Werkzeugart auf dem Markt an. Folgt man nun jedoch dem Gedanken der Resilienz ein möglichst breites Produktspektrum anzubieten, stehen diese beiden Paradigmen zunächst im Widerspruch. Hierzu soll dieser Widerspruch an dem Beispiel zwischen Spritzguss- und Blechverarbeitungswerkzeugen gezeigt werden. Obwohl beide Werkzeugtechnologien von Grund aus verschieden sind, besitzen sie doch Gemeinsamkeiten. Dies lässt sich sehr einfach am Technologieeinsatz verdeutlichen: Werden für die Herstellung eines Spritzgusswerkzeugs primär die Fertigungstechnologien Fräsen und Senkerosion eingesetzt, so werden für die Herstellung eines Blechverarbeitungswerkzeugs zum Großteil die Fertigungstechnologien Fräsen und Drahterosion eingesetzt. Obwohl für beide Werkzeugarten das Fräsen eingesetzt wird, unterscheidet sich auch der

Einsatz der Technologie selber. Im Fall der Spritzgusswerkzeuge wird das Fräsen zur Herstellung von Kavitäten mit in der Regel komplexen Freiformflächen eingesetzt. Im Fall der Blechverarbeitungswerkzeuge für die Herstellung von Matrizen oder Stempeln. Dennoch bedeutet dies, dass das Potenzial beide Werkzeugarten abzudecken oder sogar innovative Werkzeuge zum Umspritzen von Blechbauteilen anzubieten, vorhanden ist. Durch die zusätzliche Fokussierung auf eine weitere Werkzeugart lässt sich im Fall einer Krise leichter das eigene Produktportfolio auf schwankende Nachfragen anpassen und hinsichtlich des Marktes regulieren. Zusätzlich können langfristig weitere Märkte erschlossen und die Wettbewerbsposition weiter gestärkt werden. Die Auswahl von weiteren Werkzeugarten ist dabei nicht zwangsweise so zu wählen, wie es im Beispiel beschrieben wurde. Im Fokus sollte eine klare Identifizierung der eigenen oder leicht erlangbaren Kernkompetenzen stehen und daraus abgeleitet eine Erweiterung des Produktspektrums folgen. Besonders zu Beginn der Covid-19-Pandemie haben nicht nur Werkzeugbaubetriebe einen radikalen Wegfall von Kundenaufträgen hinnehmen müssen. Als eine der sehr wenigen erfreulichen Entwicklungen der Corona-Pandemie war im Frühjahr 2020 zu beobachten, dass viele Werkzeugbauunternehmen auf die Krise mit Herstellung von medizinischer Schutzausrüstung reagierten. Vorhandenes Know-how wurde im Handumdrehen dafür genutzt bspw. Ohr-Entlastungsbänder für medizinisches Personal zu produzieren. Dies verdeutlicht das Engagement aus der Branche zu helfen und die Fähigkeiten im Krisenfall sich schnell auf die Bedürfnisse der Kunden anzupassen.



Kundenstruktur

Neben der Diversifizierung im Produktspektrum gilt es umso mehr für Vielfalt in der Kundenstruktur zu sorgen. Bereits vor der Corona-Pandemie hat die Automobilkrise, ausgelöst durch die Dieselgate-Affäre, gezeigt, dass die reine Fokussierung auf eine Branche fatale Folgen haben kann. Ziel des resilienten Werkzeugbaus ist es sich antizipativ breit aufzustellen und somit Kunden in verschiedenen Branchen zu bedienen. Dies minimiert im Fall einer Krise oder schwankender Nachfrage das Risiko eines signifikanten Umsatzeinbruches. Aktuell liegt die durchschnittliche Anzahl von Hauptkunden (Umsatzanteil >80 %) externer Werkzeugbaubetriebe bei lediglich 6,7. Dies bedeutet, sollten lediglich drei Kunden wegfallen, einen Umsatzverlust von beinahe 50 %. Die EiP Top 10 aus dem Jahr 2020 sind mit 8,4 Hauptkunden etwas unabhängiger aufgestellt. Es ist verständlicherweise, vor allem für kleinere Werkzeugbauunternehmen, schwer, eine breite Kundenbasis aufzubauen. Dies widerspricht zudem dem Paradigma der Differenzierung bzw. Spezialisierung auf bestimmte Produkte und somit auch Kunden bzw. Branchen. Für eine langfristige, krisensichere Ausrichtung des Werkzeugbaus ist jedoch eine breite Kundenstruktur die Basis, um langfristig am Markt bestehen zu können. Neben der Branchenstruktur sind zusätzlich die Absatzmärkte von großer Bedeutung. Am Beispiel des Handelsstreits zwischen den USA und China lässt sich dies sehr einfach verdeutlichen. Im Falle von zu hohen Export- oder Importzöllen, sind Unternehmen gezwungen ihre Zulieferer zu wechseln, um marktfähig zu bleiben. Neben den Zöllen kann zusätzlich die Infrastruktur von Lieferketten betroffen sein. In Folge der Corona-Pandemie kam es beispielsweise zum Ende des Jahres 2020 zu massiven Engpässen von Standardschiffscontainern, sodass sich der Preis vervielfachte. Aufgrund des übergeordneten Charakters der Kundenstruktur sowie der Tatsache, dass einzelne Werkzeugbaubetriebe ihren Hauptkunden auch in andere Absatzmärkte folgen, ist dieses Handlungsfeld der Makro-Ebene resilienter Werkzeugbaubetriebe zuzuordnen. Das Kundenspektrum sollte dabei von den Werkzeugbauunternehmen nicht nur lokal, sondern ebenfalls über verschiedene Produktionsstandorte hinweg

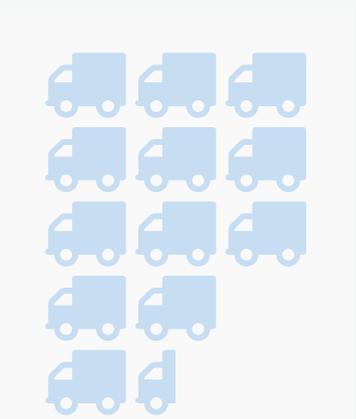
verfolgt werden, um auch in den internationalen Wertschöpfungsnetzwerken die Abhängigkeiten von einzelnen Kunden detektieren und wenn notwendig darauf reagieren zu können.

Lieferantenmanagement

Ebenfalls auf der Makro-Ebene einzuordnen ist das Lieferantenmanagement in Werkzeugbaubetrieben. Das Phänomen, das für die Absatzmärkte gilt, gilt gleichermaßen auch für das Lieferantenmanagement. Im resilienten Werkzeugbau ist ein breit aufgestelltes Lieferantenmanagement Pflicht. Vor allem der Wegfall bzw. die Verzögerung von Lieferungen aus Fernost haben gezeigt, dass zwingend regionale Lieferanten identifiziert und systematisch in das Lieferantenmanagement mit eingebunden werden müssen. Aktuell greifen Werkzeugbaubetriebe im deutschsprachigen Raum im Durchschnitt auf 12,4 Hauptlieferanten zurück, die EiP Top 10 jedoch auf 15. Die Unternehmen, die schon eine langfristige Lieferantenbeziehung mit regionalen Zulieferern hatten, wurden beim Wegfall der externen Lieferketten selbstverständlich bevorzugt behandelt. Dies bedeutet, dass eine reine Identifizierung von regionalen Zulieferern, die dadurch oftmals kostenintensiver sind, nicht ausreichend ist. Bei der Vergabe von Bestellungen bzw. externer Fertigung steht dabei eine entsprechende Berücksichtigung der regionalen Zulieferer im Vordergrund. Somit entsteht neben den klassischen Bewertungsfaktoren für eine Fremdvergabe, wie bspw. die Lieferzeit und die Kosten, eine neue Dimension im Sinne der Resilienz. Neben dem eigenen Lieferantenmanagement lohnt es sich auch, die Lieferketten und das Lieferantenmanagement der Zulieferer zu betrachten. Kernfragen sollten zum einen die Lieferketten und mögliche Ersatzlieferketten hinsichtlich der Transportwege und zum anderen die Herkunft der Zukaufteile hinterfragen. Somit kann sichergestellt werden, dass im Krisenfall kurzfristig Alternativen zur Verfügung stehen und die Versorgung gesichert ist. Dieser Logik folgend stellt die gesicherte Versorgung durch alternative Logistikrouten und regionale Zulieferer ein Differenzierungsmerkmal als Lieferant selbst gegenüber dem Wettbewerb dar und kann zukünftig als Vertriebsstrategie verwendet werden.



Anteil der Werkzeugbaubetriebe im deutschsprachigen Raum, die auf nur einen Hauptkunden (Umsatzanteil >80%) angewiesen sind



Deutschsprachige Werkzeugbaubetriebe können durchschnittlich auf 12,4 Hauptlieferanten zurückgreifen

Resilienz durch Redundanz

In Atomkraftwerken werden zum Schutz vor Systemausfällen zwei weitere (n+2) redundante Systeme eingesetzt.



Ressourcen

Die Ressourcen, auf welche ein Unternehmen zurückgreifen kann, bestimmen die Leistungsfähigkeit und Effizienz des Betriebes. Weiterhin wird die Resilienz des Unternehmens durch eine Flexibilisierung der Ressourcen maßgeblich bestimmt. Sind die Ressourcen nur für genau eine zielgerichtete Aufgabe ausgelegt, so erschwert dies die Agilität des Unternehmens, um auf Störfälle reagieren zu können. In Werkzeugbaubetrieben sind als wichtigste, resilienztreibende Ressourcen die Fertigungsressourcen auf dem Shopfloor zu beachten. Die technologische Ausstattung eines Werkzeugherstellers muss hierbei den Zielkonflikt zwischen der Fokussierung auf das zu fertigende Werkstückspektrum und der flexiblen Ausrichtung lösen, um bei Störfällen das Produktspektrum ergänzen und die Fertigung um neue Aufgaben erweitern zu können. Hierbei ist gerade die Branche Werkzeugbau gut aufgestellt, da sich durch Einzel- und Kleinseriencharakter gerade die kleinen Betriebe bereits seit Jahren mit der Problematik der anforderungsgerechten Konzeptionierung und Dimensionierung der mechanischen Fertigung beschäftigen. Dennoch sind bestimmte Aspekte zur Realisierung eines resilienten Werkzeugbaus in Bezug auf die Dimension Ressourcen zu betrachten. Dies umfasst neben der Definition und Umsetzung eines Fertigungskonzeptes auch die Thematik des Predictive Maintenance sowie den zielgerichteten Einsatz additiver Fertigungsverfahren. Diese Handlungsfelder sind hierbei als wichtige, jedoch nicht als einzige Stellhebel zu sehen, um die Resilienz in der Dimension Ressourcen in Werkzeugbaubetrieben zu steigern. Weiterhin muss vor dem Hintergrund der fortschreitenden Digitalisierung auch das Thema IT-Sicherheit beachtet werden. Dazu kommt der wichtige gesellschaftliche Aspekt der Nachhaltigkeit und ökologischen Verantwortung, welchem sich Werkzeugbaubetriebe zukünftig annehmen müssen, um neue Alleinstellungsmerkmale zu generieren und nicht von kommenden Regularien überrascht zu werden.

Predictive Maintenance

Der Begriff Predictive Maintenance beschreibt im Allgemeinen die vorbeugende Instandhaltung von Fertigungsressourcen und Werkzeugen auf Basis von Prozess- und Maschinendaten im Kontext der Industrie 4.0. Die Vorteile bei der Betrachtung der vorbeugenden Maschinenwartung liegen in der Reduzierung von ungeplanten Stillstandszeiten und der damit einhergehenden Erhöhung der Anlangenverfügbarkeit. So können Ausfallkosten und Fertigungsengpässe reduziert und die Planungssicherheit erhöht werden, was zur Resilienz des produzierenden Betriebes beiträgt. Auch die erhöhte Lebensdauer der Maschinen durch Vermeidung von Störfällen und zielgerichtete Wartungen sind Vorteile, welche sich durch Predictive Maintenance erzielen lassen. Die größte Herausforderung in diesem Themenfeld ist vor allem die Realisierung der datenbasierten Zustandsüberwachung. Neben der Datenaufnahme und -auswertung bereits verfügbarer Informationen (Achspositionen, Temperatur aus Maschinensteuerung) ist die sensorische Erweiterung der Maschinen (Vibrationen, Antriebsstrom, Positionsabweichungen) notwendig, um eine vorbeugende Instandhaltung umsetzen zu können. Weiterhin müssen entsprechend der Anforderungen an die Bearbeitung Warn- und Eingriffsgrenzen definiert werden, was gerade im Unikatfertigungscharakter des Werkzeugbaus die Umsetzung erschwert. Trotz der Hindernisse auf dem Weg zur vorbeugenden Instandhaltung, gibt es bereits erste einfach anwendbare Lösungen, wie die Ausstattung mit Körperschall- oder Beschleunigungssensoren, welche als sogenannten „Maschinenairbags“ Werkzeugbrüche oder Spindelcrashes im Millisekundenbereich erkennen und die Maschine zum Stillstand bringen, um größeren Schäden aktiv entgegenzuwirken. Dem Zielbild des Predictive Maintenance zur Resilienzsteigerung stehen im Werkzeugbau noch einige Hindernisse im Weg.

Anwendungspotenziale Predictive Maintenance

Analyseergebnisse für Produktverbesserung

38 %

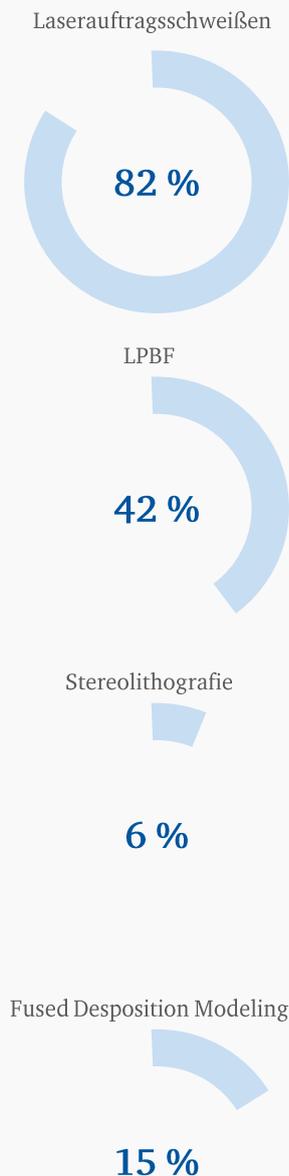
Ersatzteile automatisch

28 %

Servicetechniker automatisch

18 %

Anteil der Werkzeugbaubetriebe im deutschsprachigen Raum, welche die folgenden generativen Fertigungsverfahren einsetzen:



Um die Anwendung der KI-gestützten Anlagenüberwachung auch in der Unikaterfertigung realisieren zu können, ist in den bestehenden Systemen noch weitere Entwicklungsarbeit notwendig. Dennoch sollten Werkzeugbaubetriebe frühzeitig die Grundlagen schaffen, um Datenauswertungen in der Fertigung realisieren zu können. Dies umfasst neben dem Know-how-Aufbau im Bereich Data Science auch die Vernetzung von Maschinen zur automatisierten Datenaufnahme. Durch die Nutzung von Plattformlösungen durch externe Anbieter kann dieses Know-how auch teilweise ausgelagert werden. So kann die Reaktionsgeschwindigkeit auf Störfälle auf dem Shopfloor entscheidend gesteigert werden, was neben der erhöhten Anlagenverfügbarkeit die Resilienz im Werkzeugbaubetrieb bestärkt.

Additive Fertigung

Die additiven Fertigungsverfahren nehmen vermehrt Einzug in die Branche Werkzeugbau. Während das händische Drahtauftragsschweißen schon lange als Standardverfahren für Reparaturfälle eingesetzt wird, ist die additive Herstellung kompletter Werkzeugkomponenten in der Branche noch nicht weit verbreitet. Für die konkreten Anwendungsfälle sind die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren gegeneinander abzuwägen. Auch die Einbindung in die Prozesskette im Werkzeugbau ist bei der industriellen Anwendung zu beachten.

Die Vorteile von additiven Fertigungsverfahren liegen vor allem in der Realisierung neuer Potenziale in der Werkzeugtechnik: Durch den schichtweisen Aufbau von Bauteilen können bestehende Grenzen der konventionellen Fertigungsverfahren überwunden werden. So können Hinterschnitte, komplexe innenliegende Kühlkanäle oder bioni-

sche Strukturen für Leichtbauanwendungen realisiert werden. Dem gegenüber stehen die langen Prozesszeiten sowie fehlendes technologisches Know-how und Prozessverständnis für additive Verfahren. So ist bei den meisten generativ hergestellten Bauteilen eine anschließende Weiterverarbeitung zur Realisierung geforderter Oberflächen oder Erstellung von Funktionsflächen notwendig. Dies geht mit weiteren Prozessschritten und langen Durchlaufzeiten der einzelnen Werkzeugkomponenten einher. Aus diesem Grund müssen die richtigen Anwendungsfälle in Werkzeugbaubetrieben identifiziert werden, damit die erreichbaren Vorteile die Nachteile nivellieren.

Dennoch können additive Fertigungsverfahren in Werkzeugbaubetrieben einen wichtigen Beitrag zur ressourcenseitigen Resilienz des Unternehmens beitragen. So können in der Werkzeugtechnik Alleinstellungsmerkmale in der Werkzeugtechnik durch Minimierung von Zykluszeiten oder Herstellung komplexester Geometrien generiert werden. Auch können freie Fertigungskapazitäten im additiven Bereich genutzt werden, um Engpässe in der Fertigung in Teilen zu kompensieren. Durch die hohe Wertschöpfungstiefe und das umfassende Prozesswissen in den verschiedenen Fertigungstechnologien haben Werkzeugbaubetriebe eine gute Ausgangsposition, um Weiterverarbeitungsprozesse für additiv hergestellte Bauteile auszuliegen.

Eine Unterkategorie der additiven Fertigungsverfahren ist das Rapid Prototyping. Verfahren, wie die Stereolithografie oder das Fused Deposition Modeling können für die schnelle Erstellung erster Modelle oder Demonstratoren einen Mehrwert für Mitarbeitende und Kunden generieren.

Fertigungskonzeption

Die Fertigungsressourcen im Werkzeugbau sind auf dem Shopfloor zu finden. Diese müssen entsprechend des zu fertigenden Werkstückspektrums ausgelegt werden. Aufgrund des Unikatcharakters der Serienwerkzeuge muss so eine große Varianz an einzelnen Werkstückkomponenten in der Fertigung abgebildet werden können. Eine solche Varianz im Werkzeugbau abbilden zu können erschwert die strategische Auslegung der Ressourcen. Ebenso trägt eine langfristige Planung zukünftiger Investitionen in Fertigungsressourcen zur systematischen Umsetzung eines Fertigungskonzeptes für die Werkzeugherstellung bei. Dieses Handlungsfeld ist auf der Meso-Ebene des resilienten Werkzeugbaus einzuordnen, da es individuell für die einzelnen Fertigungsstandorte eines Unternehmens auszulegen ist.

Im ersten Schritt sind hierfür Kenntnisse über das konkrete Werkstückspektrum in der eigenen Fertigung zu erheben. Dabei müssen Merkmale wie Werkstückdimensionen, Qualitätscharakteristika, zu erstellende Features und die Bearbeitungsdauer berücksichtigt werden. Durch die Analyse des aktuellen Werkstückspektrums lassen sich Werkstückcluster bilden, welche anschließend auf die Fertigungsressourcen umzulegen sind. Der Einsatz digitaler Tools kann hierbei unterstützen, um den Aufwand zur Werkstückspektrumanalyse zu reduzieren oder sogar automatisiert aus den Systemen entlang der CAx-Prozesskette ausleiten zu lassen.

Zusätzlich zum aktuellen internen Werkstückspektrum sind zur langfristigen Ausrichtung des Fertigungskonzeptes auch weitere Aspekte, wie die zukünftige Entwicklung

der Werkzeugtechnik, die daraus abgeleitete Entwicklung des Werkstückspektrums sowie Möglichkeiten über neue Fertigungstechnologien zu betrachten. Aus den daraus abgeleiteten prozessbedingten Anforderungen können die benötigten Ressourcen zielgerichtet über einen definierten Planungshorizont ausgewählt werden. Die Berücksichtigung von Automatisierungskonzepten ist hierbei entscheidend, um Laufzeiten und Auslastungen zu maximieren und die Fertigung weiter zu flexibilisieren. So konnten automatisierte Werkzeugbaubetriebe bereits zu Beginn der Covid-19-Pandemie den Arbeitsbetrieb durch einen sehr geringen Personaleinsatz und klare Personaltrennung aufrechterhalten und die Kontakte zwischen den Mitarbeitenden minimieren.

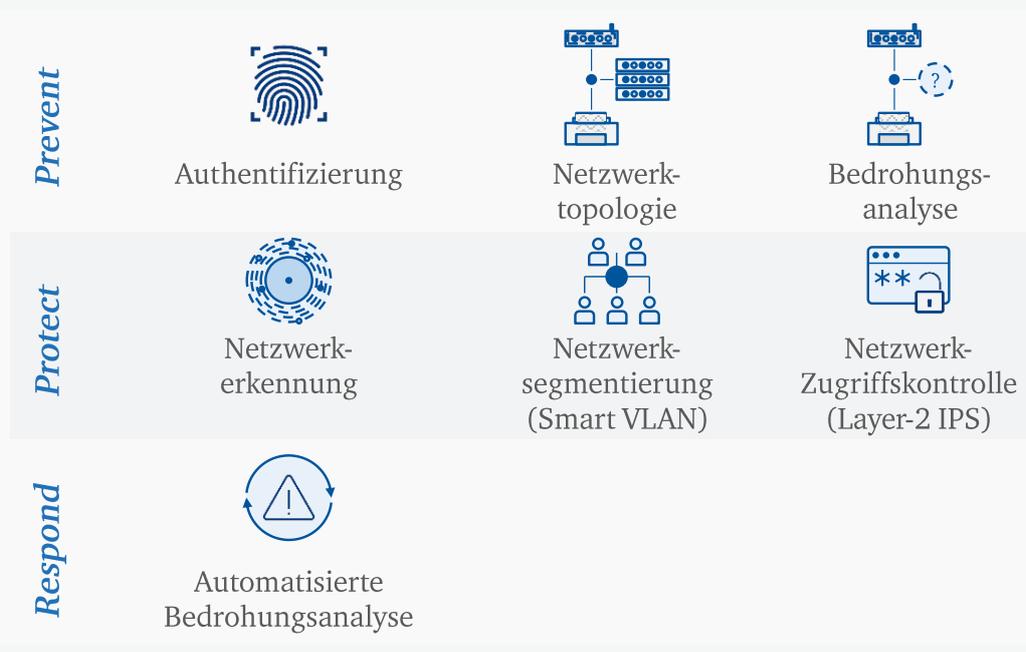
Das Dilemma der Fokussierung auf Kernkompetenzen und der Realisierung einer hohen Wertschöpfungstiefe zur Vermeidung von Abhängigkeiten muss in Werkzeugbaubetrieben im Fertigungskonzept unternehmensindividuell und auf Grundlage der strategischen Auslegung des Unternehmens berücksichtigt werden. Enge Partnerschaften und systematisches Outsourcing sind hierbei wichtige Kriterien, um Kosteneffizienz und Reaktionsgeschwindigkeit bei Fokussierung auf die Kernkompetenzen realisieren zu können. Weiterhin ist die langfristige Planung und ein regelmäßiges kritisches Hinterfragen der individuellen Investitionsroadmap, z.B. unter Berücksichtigung zukünftiger Technologien (werkzeugseitig und fertigungstechnologisch), ein wichtiger Stellhebel, um die Wettbewerbsfähigkeit und Resilienz des Werkzeugbaus langfristig und unter Einbezug aktueller Entwicklungen und Trends zu erhalten.



IT-Sicherheit

Werkzeugbaubetriebe in Deutschland haben erkannt, dass die Digitalisierung Lösungen für viele bestehende Probleme bereitstellt. Dennoch stellt die zunehmende Vernetzung von Ressourcen, Prozessen und Mitarbeitenden die Unternehmen vor neue Herausforderungen. So rückt auch in den Werkzeugbaubetrieben vermehrt das Thema der IT-Sicherheit in den Vordergrund. Neben Anforderungen und Vorgaben durch die Kunden und OEMs wird auch in den Zulieferbetrieben die Absicherung des eigenen Know-hows und Realisierung einer hohen Datensicherheit im Unternehmen vermehrt vorangetrieben. Durch IT-Sicherheitsmaßnahmen können Störfälle durch äußere und innere Einflüsse in der Produktion vermieden werden. Weiterhin müssen Unternehmen für den Fall eines Cyberangriffs Szenarien planen, wie auf Hackerangriffe oder Blackmailing zu reagieren ist. Auch Wiederanlaufstrategien für die Produktion können im Störfall Zeit und Kosten sparen. Für eine sichere IT-Infrastruktur in der digitalisierten Produktion lassen sich erste Handlungsfelder definieren. Zuerst müssen bestehende Netzwerktopologien visualisiert werden. So können der Vernetzungsgrad der Maschinen sowie Daten und Informationsflüsse in der Produktion aufgezeigt werden, um mögliche Schwachstellen zu identifizieren. Ebenso

kann die weitere Vernetzung von Maschinen auf dieser Grundlage besser geplant und umgesetzt werden. Die Ableitung einer sicheren Soll-Netzwerktopologie sollte von den Unternehmen durchgeführt werden. Bspw. durch die Segmentierung der Netzwerke können Auswirkungen von Angriffen und das Bedrohungsrisiko reduziert werden, indem im Schadensfall komplette Segmente entkoppelt und individuell untersucht werden. Authentifizierungsmaßnahmen nach verschiedenen Sicherheitsstufen für alle Netzwerkteilnehmer erschweren unerlaubte Zugriffe. Hierfür müssen jedoch vorerst die anfallenden Daten im Werkzeugbau definierten Sicherheitsclustern zugeordnet werden, um Maßnahmen nur dort anzuwenden, wo sie notwendig sind. Allgemein sollten sich auch kleinere Werkzeugbaubetriebe mit zunehmender Digitalisierung mit dem Thema der Bedrohungs- und Risikoanalyse in der Produktion auseinandersetzen, um die richtigen Sicherheitsmaßnahmen identifizieren zu können. Weiterhin können Sicherheitsmaßnahmen, wie die Speicherung von Daten in Cloudsystemen oder auf Analyse-Plattformen, dazu beitragen, Sicherheitsmaßnahmen an externe Anbieter auszulagern. Zur Umsetzung solcher Maßnahmen wird jedoch ein hohes Vertrauen der Werkzeugbauerhersteller in die Anbieter vorausgesetzt.



Nachhaltigkeit und ökologische Verantwortung

Das Thema Nachhaltigkeit und Klimaschutz war vor der Covid-19-Pandemie das gesellschaftlich aktuellste Thema in Europa. Spätestens nachdem am 11. März 2020 die Covid-19-Krise zur Pandemie erklärt wurde, rückte diese Thematik immer mehr in den Hintergrund der öffentlichen Diskussion. Jedoch wird auch während der laufenden Pandemie die Nachhaltigkeit und ökologische Verantwortung der europäischen Industrie immer wieder in den Vordergrund gestellt. So forderte im Oktober 2020 Bundeskanzlerin Merkel, die europäische Wirtschaft müsse nachhaltiger aus der Krise hervorgehen, um „besser auf künftige Krisen vorbereitet zu sein“ [30]. Dabei ist bspw. durch den European Green Deal die Forderung der Politik nach einem klimaneutralen und nachhaltigen Kontinent Europa offensichtlich.

Insbesondere die großen Industrieunternehmen sollen hier zukünftig vermehrt in die Pflicht genommen werden, um eine nachhaltigere Produktion in Europa zu realisieren. So haben in der Automobilindustrie bspw. die Unternehmen der Volkswagen-Gruppe wie VW, Audi und Porsche mit dem „Sustainability-Rating“ bereits einen ersten Ansatz zur Evaluierung der Nachhaltigkeit der gesamten Lieferkette, und somit der Zulieferbetriebe, eingeführt. Während sich das Thema Nachhaltigkeit jedoch aus den drei Aspekten der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit zusammensetzt, betrachten die wenigsten bestehenden Lieferantenevaluierungen das vordergründige Ziel der politischen Bemühungen: Die Förderung der ökologischen Nachhaltigkeit in den Produktionsbetrieben. Aus diesem Grund müssen sich die Zulieferbetriebe in Europa verstärkt mit ihrer ökologischen Verantwortung auseinandersetzen. Auch der Werkzeugbau, welcher als low-tier supplier typischer-

weise nur die Zulieferer der OEMs beliefert, kommt an der ökologischen Bewertung seiner Produkte und Prozesse zukünftig nicht mehr vorbei. Hauptansatzpunkt sollte die Emissionsreduktion des Betriebes sein. Grundvoraussetzung hierfür sind Kenntnisse über die Haupt-Emissionstreiber. Während im Werkzeugbau eine Vielzahl an Daten entlang der Prozesskette anfällt, können diese durch Digitalisierung der Prozesse nutzbar gemacht werden, um auch Nachhaltigkeitspotenziale zu identifizieren und zielgerichtet Lösungen für eine ökologischere Fertigung von Werkzeugen abzuleiten. Weiterhin können die Werkzeugbaubetriebe ihr umfassendes Know-how dazu nutzen, um eine ökologischere Auslegung der Werkzeuge zu verfolgen (bspw. hinsichtlich Langlebigkeit, Material-, Energie- und Emissionseffizienz oder Substitution des zugeführten Rohmaterials). Auch eine Erweiterung des Dienstleistungsangebotes durch bspw. ökologischeren Betrieb oder Entsorgung des Serienwerkzeugs (Rückführung von Angusskanälen, Evaluierung von Kreislaufkonzepten, Wiederverwendung von Werkzeugkomponenten für Wartungs- und Reparaturfälle etc.) könnte eine mögliche Erweiterung des Dienstleistungsportfolios sein.

So können sich die Unternehmen der Branche Werkzeugbau in Deutschland und auch Europa zukünftig nicht nur durch nachhaltigere Produkte abgrenzen, sondern durch eine nachhaltigere Serienproduktion beim Kunden einen weiteren Mehrwert liefern. Die Fokussierung auf eine ökologische Fertigung und Befähigung einer emissionsreduzierten Serienproduktion kann den europäischen Werkzeugbaubetrieben dabei helfen, sich wieder verstärkt vom internationalen Markt, wie bspw. den asiatischen Wettbewerbern, abzugrenzen.

» siehe Studie *Nachhaltigkeit*



5,5 t CO₂
werden durchschnittlich
pro Jahr durch eine Fräs-
maschine emittiert

Resilienz durch Anpassungsfähigkeit

Durch ihre Anpassungsfähigkeit an die Umgebung schützen sich Chamäleons vor ihren natürlichen Feinden.



Prozess

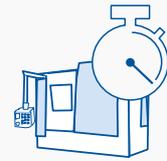
In der Dimension Prozesse werden Bausteine für Abläufe und Vorgehensweisen aufgezeigt, welche die Resilienz im Werkzeugbau erhöhen. Hierbei ist in den Prozessen der Fokus auf Reaktionsschnelligkeit und Agilität zu legen, bei gleichzeitig hoher Effizienz und Vermeidung von unnötigen Abstimmungsrunden. Den richtigen Mittelweg zu finden stellt hierbei in der Einzel- und Kleinserienfertigung eine große Herausforderung dar. Dementsprechend ist ein wichtiger Aspekt im Werkzeugbau die Planung und Steuerung der Werkzeugprojekte. Weiterhin können adaptive Prozessketten die Flexibilisierung der Abläufe und Reaktionsgeschwindigkeit auf bspw. Maschinenausfälle maßgeblich erhöhen. Die Digitalisierung ermöglicht hierbei die notwendige Transparenz, während durch Automatisierung von Prozessen und Fertigungsressourcen die Kapazitäten von Maschinen und Personal erhöht werden können. Weiterhin können durch solche Maßnahmen Remote-Zugriffe ermöglicht werden, was sich beispielsweise im Zuge der Covid-19-Pandemie bei vielen Unternehmen als ein großer Vorteil zur Absicherung der Arbeitsfähigkeit und Risikominimierung durch Kontaktvermeidung erwiesen hat.

Automatisierung

Neben der Digitalisierung stellt auch die Automatisierung im Werkzeugbau einen großen resilienztreibenden Stellhebel in der Produktion dar. Dabei ist hervorzuheben, dass die Automatisierung im Werkzeugbau nicht mehr als Trend gesehen werden kann, sondern in den meisten Werkzeugbaubetrieben bereits zum Stand der Technik gehört. So verwenden in der wichtigsten Fertigungstechnologie – dem Fräsen – bereits 86,2 % der Werkzeugbaubetriebe in Deutschland Bearbeitungswerkzeugwechsler und 27,1 % Werkstückwechselsysteme. Potenzial ist hingegen noch bei der Anwendung der Verkettung der Fertigungsmaschinen erkennbar. Nur 20,7 % der Fräsmaschinen sind in verkettete Anlagen eingebunden. Die Vorteile von Automatisierungslösungen sind ersichtlich: Neben der Steigerung der Maschinenlaufzeiten und Erhöhung der Auslastung durch mannlöse Schichten kann auch der Personaleinsatz durch die Realisierung von Mehrmaschinenbedienung reduziert werden.

Die so eingesparten Kosten ermöglichen den wirtschaftlichen Betrieb der investitionsintensiven Automatisierungslösungen. Gerade den in Deutschland vorherrschenden Herausforderungen, wie der Mangel an qualifiziertem Fachpersonal und das hohe Lohnniveau, kann durch zielgerichtete Automatisierungslösungen entgegengewirkt werden. Dabei muss nicht immer eine technologieübergreifende Verkettung die beste Variante zur Automatisierung sein. Die Lösungen sind vielmehr zielgerichtet und entsprechend dem zu bearbeitenden Werkstückspektrum anzupassen. [31] Dabei beginnt die Automatisierung mit der Prozessbeherrschung. Die Automatisierung instabiler Prozesse ist offensichtlicherweise nicht sinnvoll. Weiterhin müssen Standardisierungsmaßnahmen getroffen werden. Dies umfasst Bauteile, Bearbeitungswerkzeuge und Prozessfolgen. Ebenfalls sind standardisierte Spannsysteme zur Realisierung von Wiederholungseffekten zu treffen. So kommen in nahezu allen Automatisierungslösungen im Werkzeugbau Nullpunktspannsysteme zum Einsatz. Der nachfolgende Schritt beschäftigt sich mit der Automatisierung des Datenflusses. Informationsflüsse und Datenbereitstellung an den Maschinen müssen ermöglicht werden, sodass Störungen bspw. durch fehlende NC-Programme, falsche Informationen oder das Warten auf Eingabe durch den Mitarbeitenden vermieden werden können. Durch Barcodes, QR-Codes oder RFID-Chips können durchgängige Referenzen auf Werkstück und Bearbeitungswerkzeug realisiert werden. Erst nach Umsetzung dieser Schritte sollten Werkzeugbaubetriebe sich die entsprechende Automatisierungshardware anschaffen. Durch die anforderungsgerechte Automatisierung in der Werkzeugfertigung können somit Potenziale gehoben werden, welche die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens steigern. Der positive Einfluss auf die Resilienz ist hierbei vor allem getrieben durch den Prozess der automatisierungsgerechten Gestaltung der Abläufe. Gerade am Beispiel der Covid-19-Pandemie zeigt sich jedoch auch, dass der geringere Personaleinsatz in einer Gesundheitskrise die Aufrechterhaltung der Fertigung ermöglichen kann.

» siehe Studie *Erfolgreich Automatisieren*



Fräsen $\approx + 31\%$
Senkerosion $\approx + 40\%$
Drahterosion $\approx + 22\%$
 ... höhere Durchschnitts-
 jahreslaufzeit der
 EiP Top 10
 vergleichen mit dem
 Wettbewerbsdurchschnitt
 durch konsequente
 Automatisierung



Jedes 4. Werkzeug

wird zu spät an den Kunden ausgeliefert

Planung und Steuerung

In der Branche Werkzeugbau wird trotz sinkender Produktentwicklungszyklen und damit einhergehenden kürzeren Durchlaufzeiten eine hohe Termintreue in der Herstellung der Werkzeuge vorausgesetzt. Dennoch werden 24,2 % der Werkzeuge erst nach dem geplanten Termin ausgeliefert. Die EiP Top 10 erreichen hier mit 14,1 % durch eine bessere Planung eine deutlich höhere Termintreue. Die kundenseitige Forderung nach der pünktlichen Bereitstellung der Werkzeuge müssen die Unternehmen in der internen Planung und Steuerung der Projekte entlang der Auftragsabwicklung umsetzen. Um die Komplexität der Planung eines Werkzeugprojektes abbilden zu können, ist eine Planung auf verschiedenen Ebenen notwendig.

Bei der Planung auf Projektebene sind mit dem Kunden abgestimmte Meilensteine des Werkzeugprojektes in interne Meilensteine zu überführen. Diese internen Deadlines umfassen einen zeitlichen Puffer für nachträgliche Änderungen an der Konstruktion sowie Freigabeschleifen (z. B. Fertigungsfreigabe oder Montagetauglichkeit).

Parallel zur Meilensteinplanung wird das Werkzeugprojekt einer Grobplanung unterzogen. Hierfür werden Kapazitäten für grob abgeschätzte Bearbeitungsaufwände in den einzelnen Fertigungstechnologien reserviert. Nach abgeschlossener Konstruktion ist das Werkzeug einer Feinplanung zu unterziehen. Die Feinplanung findet hierbei auf Baugruppen- oder sogar Komponenten-Ebene statt. Um Durchlaufzeiten zu minimieren, kann das Werkzeug hierbei kaskadiert nach fertigem Konstruktionsstand bereits in die Feinplanung gegeben werden. Dabei ist es sinnvoll, mit den zeit- oder beschaffungsintensiven Konstruktionsmodulen zu begin-

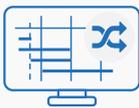
nen, damit die Fertigung oder der Einkaufsprozess frühzeitig angestoßen werden kann. Die Fertigungssteuerung beginnt mit der Bearbeitung der Bauteile in der Fertigung. Hier können einzelne Aufträge zur Einhaltung des Zeitplans kurzfristig umpriorisiert werden, um den versprochenen Auslieferungszeitraum erreichen zu können.

Entscheidend für eine effektive Planung und Steuerung der Werkzeugprojekte ist die richtige Systemunterstützung. Hier gibt es für Werkzeugbaubetriebe individuelle Planungssoftware. Bei der Auswahl solcher Systeme sind unternehmensseitige Randbedingungen, wie Verknüpfung mit anderen Systemen, die Betriebsdatenerfassung, Einbindung ins Enterprise Resource Planning System (ERP) oder Manufacturing Execution System (MES) zu berücksichtigen.

Durch die zunehmende Komplexität der Werkzeuge und späte Produktänderungen durch den Kunden gehört die Änderung von einzelnen Komponenten und die damit einhergehende Umplanung der bestehenden Aufträge zum Alltag im Werkzeugbau. Dies macht sich auch in der hohen Anzahl an Eilaufträgen in der Branche bemerkbar. So ist bei 20,1 % der Aufträge eine Umplanung erforderlich, bei den EiP Top 10 liegt dieser Wert bei lediglich 11,7 %. Diese Anforderungen muss die Planungs- und Steuerungssoftware im Werkzeugbau abdecken.

Durch das konsequente Tracking der Bearbeitungszeiten kann nach Abschluss des Projektes eine fundierte Werkzeugnachbetrachtung durchgeführt werden. Durch die Identifikation von Abweichungen aus geplanten und tatsächlich verbrauchten Fertigungsstunden kann die Planungssicherheit im Werkzeugbau langfristig erhöht werden.

» siehe Studie *Erfolgreich Planen & Steuern*



Jeder 5. Auftrag

erfordert eine kurzfristige Umplanung des aktuellen Auftragsbestands

Zur Verbesserung der Planungsgenauigkeit im Werkzeugbau wurde bisher das Ziel verfolgt, durch Standardisierung die Komplexität aus den Prozessketten und Abläufen im Werkzeugbau zu reduzieren. Hierfür verfolgen die Unternehmen der Branche neben der Standardisierung der Werkzeuge auch Maßnahmen, wie standardisierte Arbeitspläne und Prozessfolgen, die Segmentierung des Maschinenparks (Trennung zwischen Neu- und Reparaturaufträgen) und bei einigen Werkzeugbaubetrieben sogar eine Fertigungstaktung. Auch wenn solche Maßnahmen insbesondere die Termintreue sowie eine konstant hohe Qualität des Werkzeugbaus fördern, so werden Potenziale in der Produktivität und Flexibilität liegen gelassen. Eine datengetriebene Wertschöpfung hilft hierbei, diese Potenziale zu heben und die Komplexität durch ein hohes Maß an Transparenz und Adaptivität der Prozessketten beherrschbar zu machen.

Adaptive Prozessketten

Resilienz in der Fertigung geht in der Regel mit den Zielgrößen Agilität, Reaktionsgeschwindigkeit und Robustheit einher. Die Abläufe der Werkzeugfertigung zeichnen sich oft durch ein hohes Maß an Variabilität, späten Änderungen und Umpriorisierung von Aufträgen auf dem Shopfloor aus. So sollen eine flexible Auftragseinplanung mit hohen Maschinenauslastungen und höchsten Qualitätsanforderungen zur Werkzeugfertigung zum Einsatz kommen. Diese Eingangsparameter stellen häufig einen Zielkonflikt dar, der durch manuellen Aufwand und hohes individuelles Know-how der Mitarbei-

tenden umgesetzt werden muss. Aus diesem Grund ist der Bedarf nach einem flexiblen Tool, zur automatisierten Generierung von adaptiven Prozessketten unter Berücksichtigung gegebener Randbedingungen groß. Das Zielbild der adaptiven Prozessketten beschreibt hierbei einen Algorithmus, welcher vergleichbar mit einem Routenplaner den optimalen Weg des Werkstücks durch die Fertigung unter gegebenen Randbedingungen, wie verfügbare Kapazitäten, Maschinenstillstände, erreichbare Qualität oder Bearbeitungszeit, bestimmt. Diesem Zielbild stehen aktuell im Werkzeugbau noch verschiedene Hindernisse gegenüber. Zwar verfügen verschiedene Planungsprogramme über die Möglichkeit der automatisierten Optimierung der Projektplanung, jedoch fehlen neben den zeitlichen Aspekten hier weitere Zielkriterien. Weiterhin sind die Programme in der Regel auf die Eingabe von Vorgabezeiten angewiesen. Eine Prognose der Bearbeitungszeiten auf Basis der CAD-Daten des Werkstücks ist bisher nicht möglich. Allein die Prognose der Fertigungsdauer auf Basis der Simulation des CAM-Programmes weicht in der Fräsbearbeitung oft um den Faktor 1,3 - 1,5 ab.

Neben der Verbesserung bestehender Modelle zur Vorhersage der Fertigungszeit müssen weitere Prognosemodelle entwickelt werden, welche nach zusätzlichen Zielkriterien optimiert werden. So ist die Vorhersage der Qualität einzelner Fertigungstechnologien weiter verbesserungsfähig. Hierbei ist zu beachten, dass die erreichte Qualität in der Regel im Widerspruch zu der Bearbeitungs-



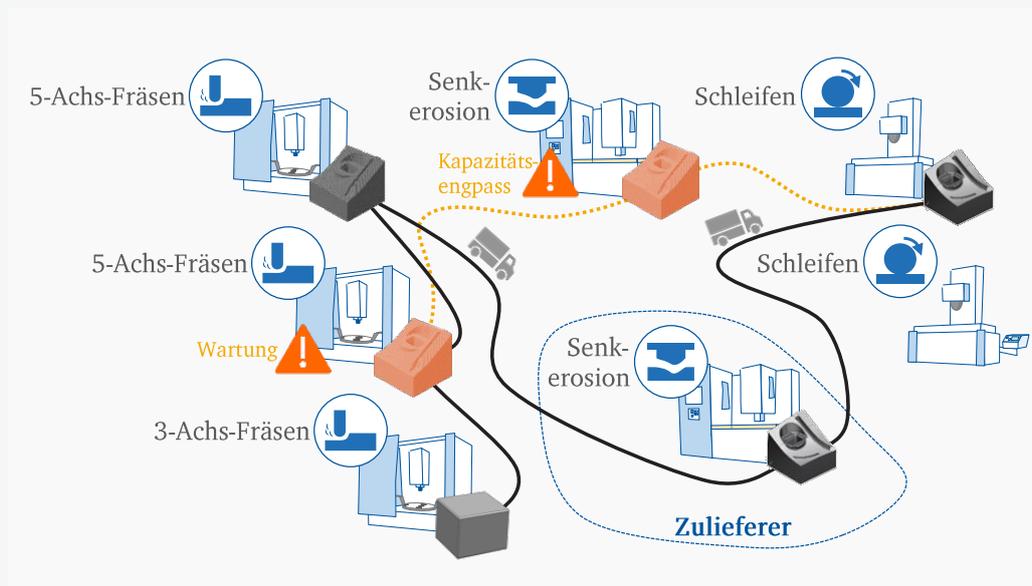
Ø 21 %

**höher ist die reine
Bearbeitungszeit
verglichen mit der
prognostizierten Zeit
aus dem CAM-Programm**

zeit steht. Aus diesem Grund ist ein prozesskettenübergreifender Ansatz zu verfolgen, welcher ebenfalls nachfolgende Prozessschritte betrachtet. So muss beispielsweise ein anschließend zu erodierender Bereich eines Werkstücks nicht in höchster Präzision gefräst werden. Solche Aspekte sind bei der automatisierten Prozesskettengenerierung und Prozesszeitsimulation zu betrachten. Im Allgemeinen müssen Werkzeugbaubetriebe für die Realisierung von adaptiven Prozessketten ein besseres Technologieverständnis aufbauen und in Wissensdatenbanken für die einzelnen Verfahren speichern. Auch in diesem Punkt kommen die Unternehmen nicht um den Aspekt der umfassenden Datenaufnahme herum, um die Aussagekraft der Vorhersagemodelle zu steigern. Dabei sollten die Unternehmen der Branche Werkzeugbau nicht warten, bis bestehende Softwarelösungen zugekauft werden können. Viele solcher Systeme sind aktuell in der Entwicklung und erste Prototypen werden bereits in Forschungsprojekten erprobt. Hierbei hat sich

jedoch gezeigt, dass Ansätze mittels künstlicher Intelligenz oder Machine Learning immer eine umfassende Datenbasis benötigen, um angelernt zu werden und aussagekräftige Vorhersagen treffen zu können. Dementsprechend sollten die Unternehmen bereits jetzt anfangen, eine Datenbasis aufzubauen, an welcher anschließend erste Lösungen anknüpfen können.

Mit Hilfe von adaptiven Prozessketten können Werkzeugbaubetriebe eine neue Dimension der Flexibilität auf dem Shopfloor erreichen und somit einen großen Schritt im Bereich der Mikro-Resilienz machen. Der Erreichung dieses Zielbildes steht aktuell noch die mangelhafte Prognosefähigkeit in den Fertigungstechnologien gegenüber. Durch die Anwendung digitaler Lösungen zur Aufnahme und Auswertung von Prozessdaten kann ein Meilenstein zur Realisierung der Adaptivität der Prozesskettengenerierung erreicht werden.



Datenmanagement entlang der Wertschöpfungskette

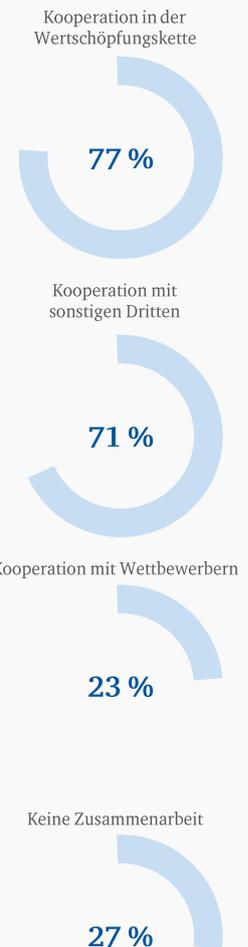
Ein erfolgreiches Datenmanagement im Werkzeugbau erfordert zu Beginn eine unternehmensinterne Vernetzung über die Abteilungsgrenzen hinweg. Der Einkauf ist im Schnitt am besten vernetzt (85 %). Die FuE-Abteilung tauscht mit 71 % am wenigsten Daten mit anderen Abteilungen aus. Infolge der vielen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Prozessschritten entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugbaus, an der Unternehmen unterschiedlicher Struktur, Kompetenz und Größe teilnehmen, ist eine ganzheitliche Optimierung der Resilienz ohne ein skalierbares, unternehmensübergreifendes Kooperationsnetzwerk / eine Allianz, in welchem Daten, Informationen und Wissen geteilt werden, nicht möglich [23].

Nur über einen gegenseitigen Austausch von Informationen können Abweichungen der Produktqualität, Kundenwünsche oder Lieferzeiten in den verschiedenen Stufen der Resilienz berücksichtigt, Wartungsintervalle oder Maschinenauslegungen optimiert und smarte Resilienzservices entwickelt werden. Das Ziel ist es, sowohl Daten und Modelle als auch Services in einer solchen

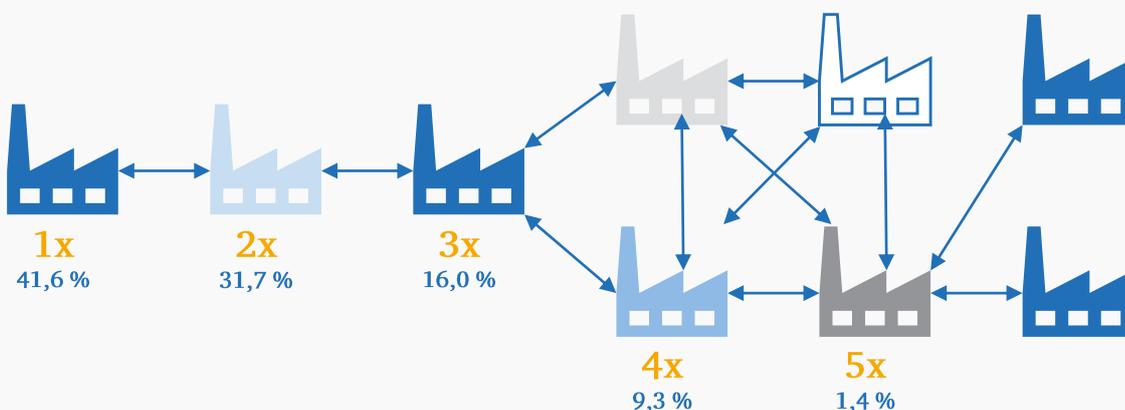
Allianz zu handeln. Der aktuelle Status quo bzgl. eines unternehmensübergreifenden Datenmanagements ist im Maschinenbau eher verhalten, obwohl viele Unternehmen die Bedeutung von Daten und die Bedeutung für ihr Unternehmen erkannt haben (84 %). 12 % der Unternehmen zeigen Interesse und sind dem Datenmanagement aufgeschlossen, 16 % sogar investitionsbereit. Das größte zu erwartende Potenzial liegt zu 77 % in der Vernetzung mit Unternehmen in der Wertschöpfungskette [22].

Als Vorreiter eines solchen Vorhabens gelten nur 6 % der Unternehmen. Das Resultat ist ein aktueller unternehmensübergreifender Vernetzungsgrad von 49,3 %. Von diesem Anteil gelten nur 16 % als ausreichend vernetzt. Dies bedeutet eine Vernetzung mit mindestens zwei zusammenarbeitenden Unternehmen. Der Geschäftsbereich Produktion eines Werkzeugbauers ist im Durchschnitt zu 23,1 % mit Abteilungen externer Unternehmen vernetzt. Der Informationsaustausch mit Zulieferern mit 12,6 % bestimmt den größten Anteil des Vernetzungsgrads. Mit anderen Geschäftsbereich sinkt der Vernetzungsgrad der Produktion. Der Austausch mit Forschungspartnern liegt bspw. nur bei 2,4 %. Zur Etablierung einer

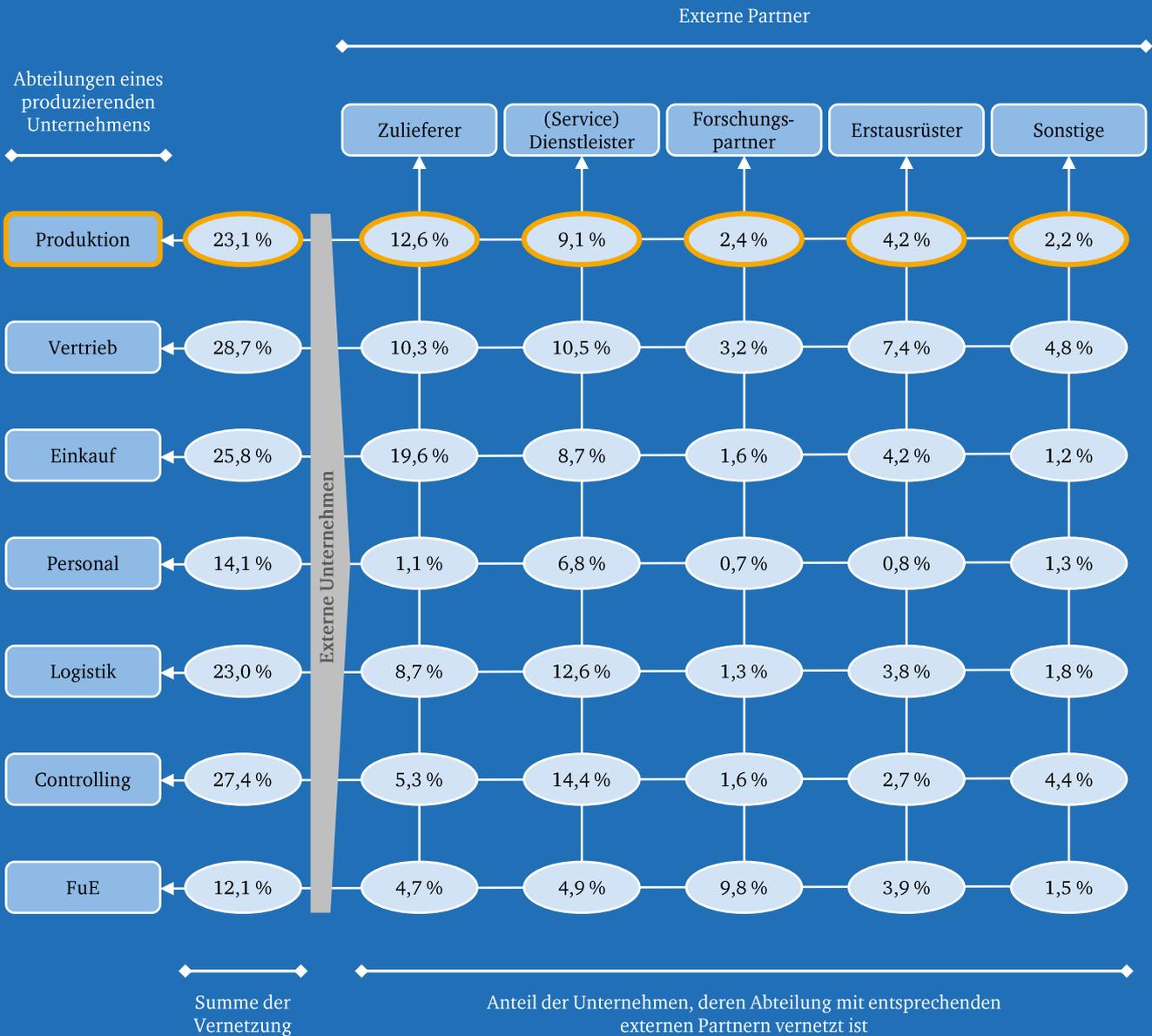
Potenziale digitaler Plattformen mit (sehr) hoher Aussicht auf Erfolg



Anteil der Unternehmen, die mit x externen Unternehmen vernetzt sind [%]



Vernetzung nach Geschäftsbereichen und externen Partnern



Datenallianz im Werkzeugbau und technischen Umsetzung eines (teil-) automatisierten Datenaustauschs müssen vier Kernaspekte betrachtet werden, um der aktuellen Skepsis von Unternehmen im Bereich Datenhandel zu begegnen: Die Datensouveränität, -integrität und -sicherheit muss für die Netzwerkteilnehmer gewährleistet sein, sodass die Daten transparent erhoben und vertrauenswürdig gespeichert werden und dabei die Datenhoheit stets beim Eigentümer liegt und die Eigentumsrechte nicht an zentrale Entitäten oder Dritte übertragen wird (Data Governance). Eine GAIA-X-Konformität schafft digitale Souveränität, Unabhängigkeit und Sicherheit gemäß der Datenschutzverordnung (DSGVO) [25]. Der Anteil der CXO, die Technologien für digitales Vertrauen forcieren, wächst. 38 % realisieren Technologien für einen verbesserten Umgang mit Cyber-Bedrohungen, 49 % streben eine technologiegestützte Wahrung der ethischen Grundsätze an [26].

Das Erheben der richtigen Daten entlang der Wertschöpfungskette und das Teilen ausgewählter relevanter Daten und Informationen für individuelle Anwendungsfälle in angepassten Informationsebenen (Aggregationsstufen) muss sichergestellt sein, sodass der Verlust von geistigem Eigentum (IP) oder Einblicke in die Unternehmensabläufe verhindert und gleichzeitig die wichtigsten Kennzahlen geteilt werden können. Die Homogenisierung der Datenformate und deren Inhalte inklusive der Definition

flexibler Schnittstellen ist eine weitere Anforderung, sodass ohne großen Mehraufwand viele physikalische Assets und bestehende Systeme in die Datenaufnahme integriert werden können. Die Teilnehmer des Kooperationsnetzwerks der Plattform müssen incentiviert werden, authentische Daten innerhalb des Netzwerks zur Verfügung zu stellen, und angemessen an den resultierenden Optimierungspotenzialen beteiligt werden.

Die resultierenden, großen Datenmengen übersteigen häufig die lokalen Ressourcen und Latenzanforderungen. Cloudbasierte Lösungen lösen diese Problematik, sind jedoch zentral gemanaged, sodass das Risiko mangelhafter Datenintegrität und -sicherheit besteht. Edge-basierte Infrastrukturen bieten dahingegen den Vorteil der Dezentralität. Speicher- und Zugangsressourcen jedoch sind nicht verteilt. Eine Lösung für diese Problematik sind Distributed Ledger Technologien (DLT) [27]. Die Unabhängigkeit von einer zentralen Instanz, die geografische Datendistribution sowie deren Fälschungs- und Manipulationssicherheit gewährleisten eine Datenhoheit und -integrität. Hinzu kommt die Eigenschaft der echtzeitfähigen Datenübertragung, welche die Forderung nach der Aktualität der Daten in zahlreichen Anwendungsfällen erfüllt. Das Potenzial von DLT für das BIP wird bis 2030 auf 1,76 Bil. USD geschätzt. Das Datenmanagement mittels DLT verspricht aufgrund der Eignung in den Anwendungen des Herkunftsnachweises und Zahlungsinstruments großes Potenzial.

Anteil der deutschen CXO, die Technologien für digitales Vertrauen forcieren

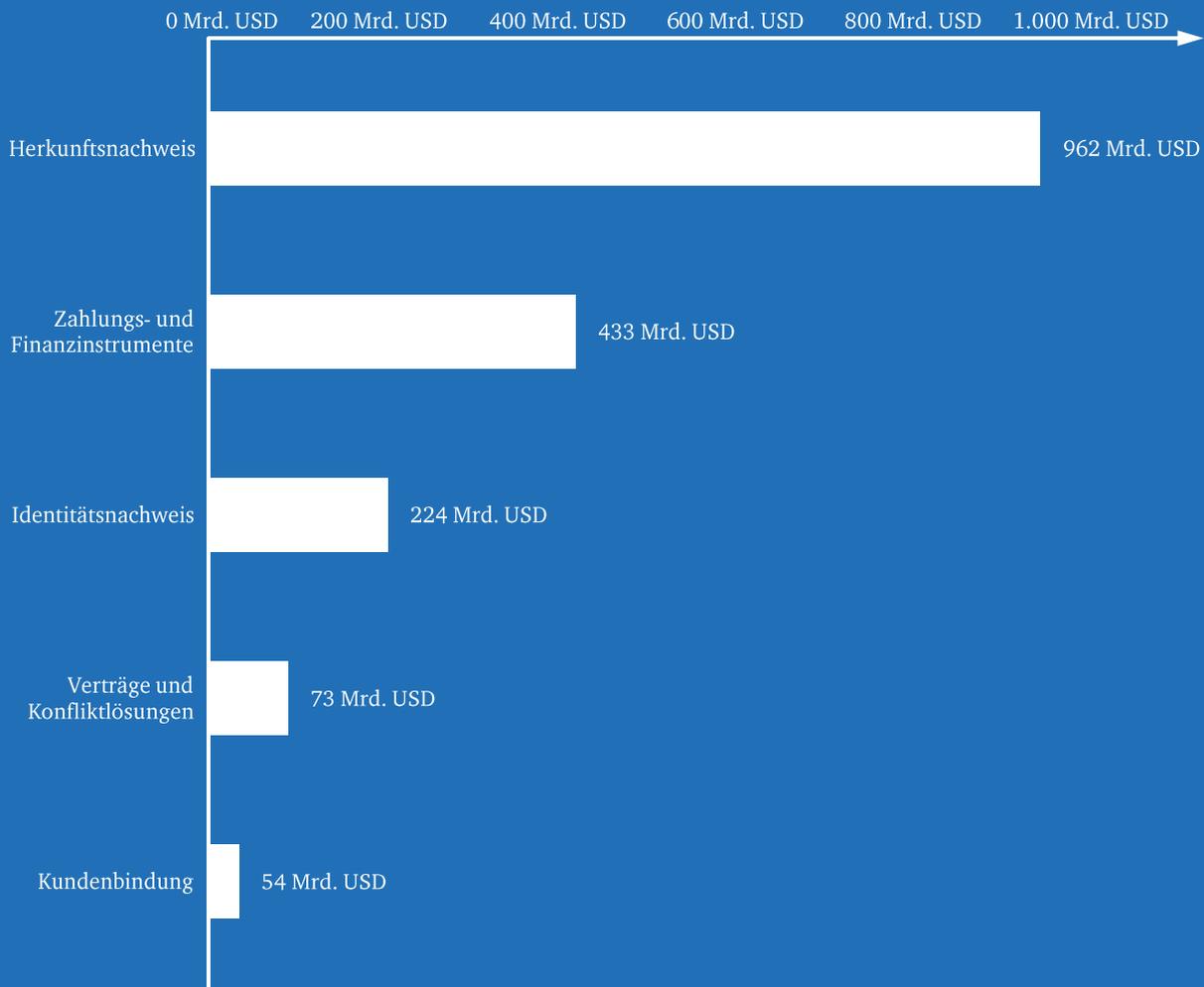
Erheben, Beheben und Prävention von Cyber-Bedrohungen

38 %

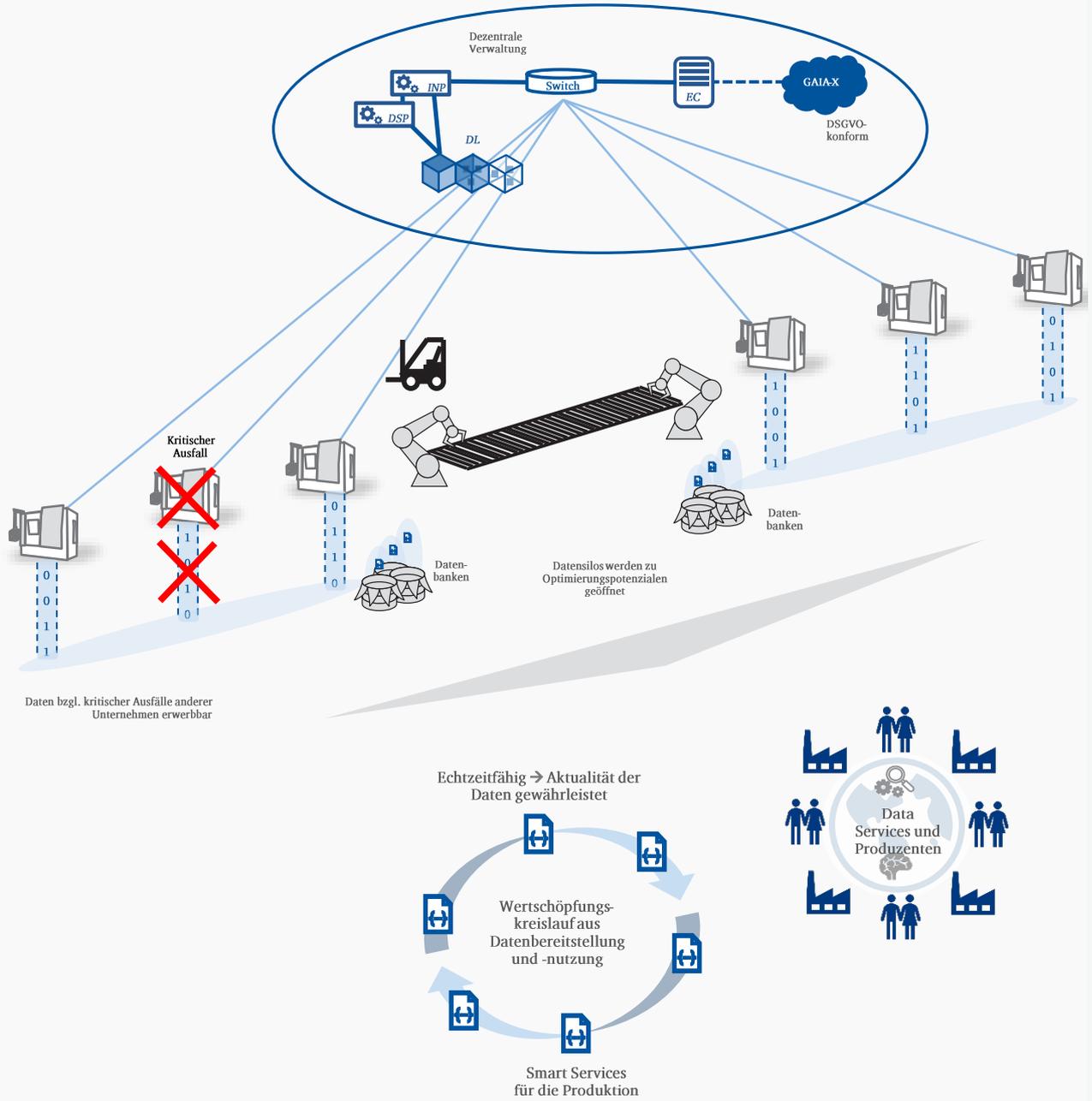
Implementieren von Technologien mit ethischen Grundsätzen

49 %

TOP 5 Distributed Ledger Technologie-Anwendungen, geranked nach Einfluss auf das BIP [Mrd. USD]



Datenmarktplatz





Resilienz durch Reaktion

Im Falle eines Waldbrands brennt die Feuerwehr zum Schutz vor einer großflächigen Ausbreitung des Feuers kleine Teile des Waldes kontrolliert nieder.

Mitarbeitende

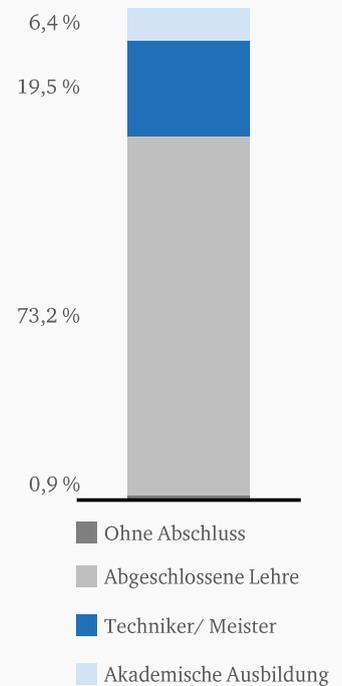
Die Mitarbeitenden sind der wichtigste Bestandteil eines wettbewerbsfähigen Unternehmens. Insbesondere in einer Branche, welche auf dem individuellen Wissen und der langjährigen Erfahrung des Personals in Konstruktion, CAM-Programmierung, Fertigung, Montage, Try-out und Projektmanagement beruht, wie im Werkzeugbau, leisten die Mitarbeitenden einen sehr großen Beitrag zur Überlebensfähigkeit und Krisenbeständigkeit eines Unternehmens. Aus diesem Grund ist es notwendig, das vorhandene Wissen im Betrieb zu speichern und dem Rest der Belegschaft zur Verfügung zu stellen. Auch die Qualifikation des Personals stellt hierbei einen wichtigen Teilaspekt im Werkzeugbau dar, um das vorhandene Wissen weiter auszubauen und die Mitarbeitenden zu fördern. Abschließend wird auf die Unternehmenskultur eingegangen, welche ebenfalls einen großen Einfluss auf die Resilienz eines Unternehmens ausübt.

Mitarbeitendenqualifikation

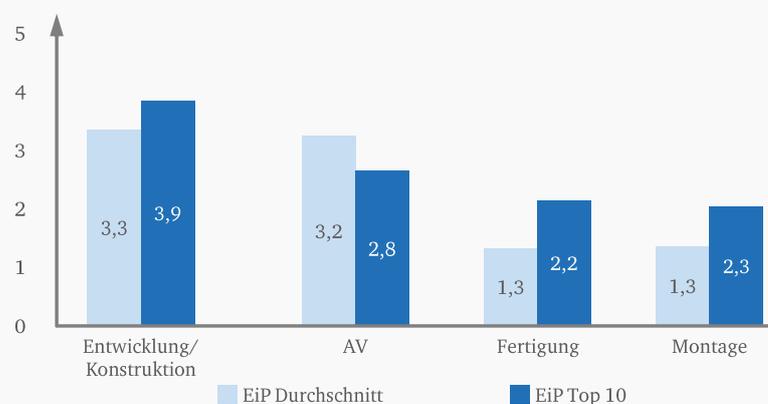
Westeuropäische Werkzeugbaubetriebe grenzen sich von außereuropäischen Wettbewerbern häufig durch das hohe Qualifikationsniveau ihrer Belegschaft ab. Somit sind unter den Teilnehmern des EiP in den letzten fünf Jahren nur 0,9 % der Mitarbeitenden ohne beruflichen Abschluss (ausgenommen Auszubildende). 73,2 % haben erfolgreich eine Lehre abgeschlossen, der Rest kann einen höheren Ausbildungsgrad, wie Techniker/Meister oder akademischen Abschluss aufweisen - somit können die Unternehmen der Branche Werkzeugbau auf hoch ausgebildete Fachkräfte zurückgreifen. Der demografische Wandel hingegen macht sich gerade in der deutschen Branche Werkzeugbau bemerkbar. So fällt es den Unternehmen zunehmend schwerer, junge Leute von einer Ausbildung zu begeistern, was sich in dem hohen Durchschnittsalter von 40,3 Jahren bemerkbar macht. Umso wichtiger ist es für die Werkzeugbaubetriebe, das vorhandene Personal konsequent zu fördern. Durch die Weiterentwicklungen in den Fertigungstechnologien oder neuen Möglichkeiten und Tools in Konstruktion, Programmierung und der Werkzeugtechnik stellt die Bereitstellung von individuellen Schulungs- und Weiterbil-

dungsplänen für die Mitarbeitenden ein wichtiges Handlungsfeld für die Führungskräfte der Unternehmen dar. So konnten die EiP-Teilnehmer in den letzten fünf Jahren im gesamten Betrieb durchschnittlich 1,5 Schultage aufweisen, während die Top 10 in den letzten fünf Jahren auf durchschnittlich 2,3 Schultage pro Mitarbeitendem kommen. Schwerpunkte von Weiterbildungsmaßnahmen lagen hierbei in der Konstruktion und Arbeitsvorbereitung. Zur Umsetzung eines Schulungsplans ist zuerst der Qualifizierungsbedarf der einzelnen Mitarbeitenden zu ermitteln. Dafür sind Anforderungsprofile für die verschiedenen Stellen im Werkzeugbau zu definieren. In den jährlichen Mitarbeitergesprächen muss der Erfüllungsgrad der Anforderungen mit der Qualifizierung der Mitarbeitenden gegenübergestellt werden. Aus den so ermittelten Abweichungen lässt sich zielgerichtet der Schulungsbedarf ableiten. Eine regelmäßige Re-Evaluierung ist hierfür für die Erreichung eines hohen Qualifikationsniveaus im Unternehmen notwendig. Durch die Sicherstellung, dass das Personal im Betrieb durchgängig und langfristig einen hohen Wissensstand in allen Gebieten des zugeteilten Aufgabenspektrums aufweist, kann die Krisensicherheit des Werkzeugbaus sichergestellt werden.

Ausbildungsniveau EiP-Teilnehmer [%]



Durchschnittliche Schultage pro Mitarbeiter im EiP 2016-2020 [Anzahl]



Wissensmanagement

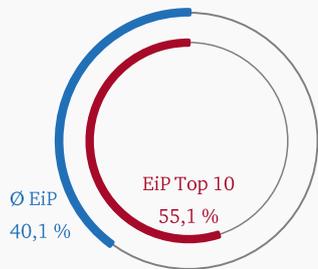
Insbesondere in hochspezialisierten Branchen wie dem Werkzeugbau stellt das Wissensmanagement im Unternehmen ein wichtiges Hilfsmittel dar, um die vorhandenen individuellen Erfahrungen der Mitarbeitenden zu sammeln und dem Rest der Belegschaft zugänglich zu machen. Die erfolgreiche Anwendung von Wissensmanagement unterstützt die langfristige Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft eines Unternehmens. Ein Teilaspekt des Wissensmanagements ist die Prozessdokumentation, welche für die Zertifizierung nach DIN ISO 9001:2015 für die Kernkompetenzen des Unternehmens eine wichtige Grundvoraussetzung darstellt. In der Praxis scheitern Ansätze des Wissensmanagements jedoch häufig an mangelhaft dokumentierten Prozessen, unklaren oder uneinheitlichen Dokumentationsstrukturen und dem hohen Aufwand für den Zugriff auf das vorhandene Wissen. Um diese Hindernisse zu umgehen, müssen Dokumentationsstandards definiert sowie Zugriffshürden im Tagesgeschäft herabgesetzt werden.

Das Wissensmanagement im Werkzeugbau ist aufgrund des Projektcharakters der Aufträge entlang der Wertschöpfungskette zu strukturieren und zu visualisieren. So wird den Mitarbeitenden ein Überblick über die zu beachtenden Standards gegeben und die eigene Rolle in der Leistungserbringung aufgezeigt. Das somit gefestigte Prozesswissen

stärkt die Identifikation der Belegschaft mit den Prozessen, wodurch auch die Motivation zur Verbesserung der Prozesse entscheidend gesteigert werden kann. Weiterhin werden durch visuelle Darstellungen von Zusammenhängen und Stoff- sowie Informationsflüssen Optimierungspotentiale, Schnittstellenproblematiken und Medienbrüche schnell und intuitiv ersichtlich.

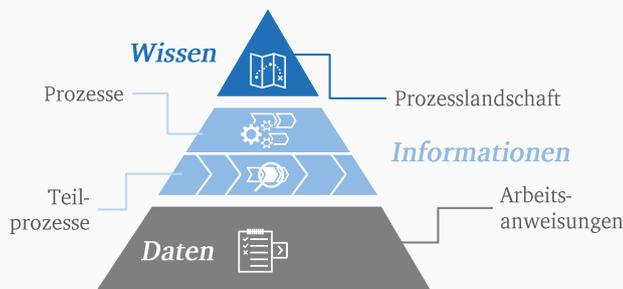
Zur Umsetzung des Wissensmanagements bieten sich softwaregestützte Lösungen an. Bei vielen produzierenden Unternehmen kommen hierbei sogenannte interne „Wikis“ (i.A.a. die Online-Enzyklopädie Wikipedia) zum Einsatz. Durch solche intuitiven Systeme kann eine niedrige Zugriffshürde realisiert werden. Über einen Computerarbeitsplatz kann so auf das digitale Wissensmanagement zugegriffen werden. Speziell vor dem Hintergrund des aktuellen Trends der Effizienzsteigerung durch Digitalisierung und vernetzte Produktion stellen Smart Devices für Mitarbeitende ohne festen Arbeitsplatz einen Lösungsansatz für den Zugriff auf das Unternehmenswissen dar. Somit stellen App-Lösungen im Wissensmanagement ein weiteres Handlungsfeld für die zukünftige Entwicklung von Unternehmen dar.

Der Beitrag zur Resilienz eines Werkzeugbaubetriebes ergibt sich aus den Vorteilen, welche ein anwendungsorientiertes Wissensmanagement im Werkzeugbau mit sich bringt: Die Sammlung des individuellen Know-hows der Mitarbeitenden und Aggregation zur Darstellung komplexer Zusammenhänge von Prozessen und Abläufen ermöglicht der gesamten Belegschaft, schnell an benötigte Informationen zu kommen. So kann die Qualität in der Leistungserbringung konstant hochgehalten werden. Die verbesserte Vermittlung von Arbeitsstandards und Zugänglichkeit zu notwendigen Informationen reduziert weiterhin potenzielle Fehler entlang des gesamten Auftragsabwicklungsprozesses. Ebenfalls können durch die klare Definition von Verantwortlichkeiten und bessere Transparenz über die gesamte Wertschöpfung hinweg Verbesserungspotenziale erkannt und zielgerichtet gehoben werden.



Anteil Werkzeugbaubetriebe mit elektronischer Wissensdatenbank

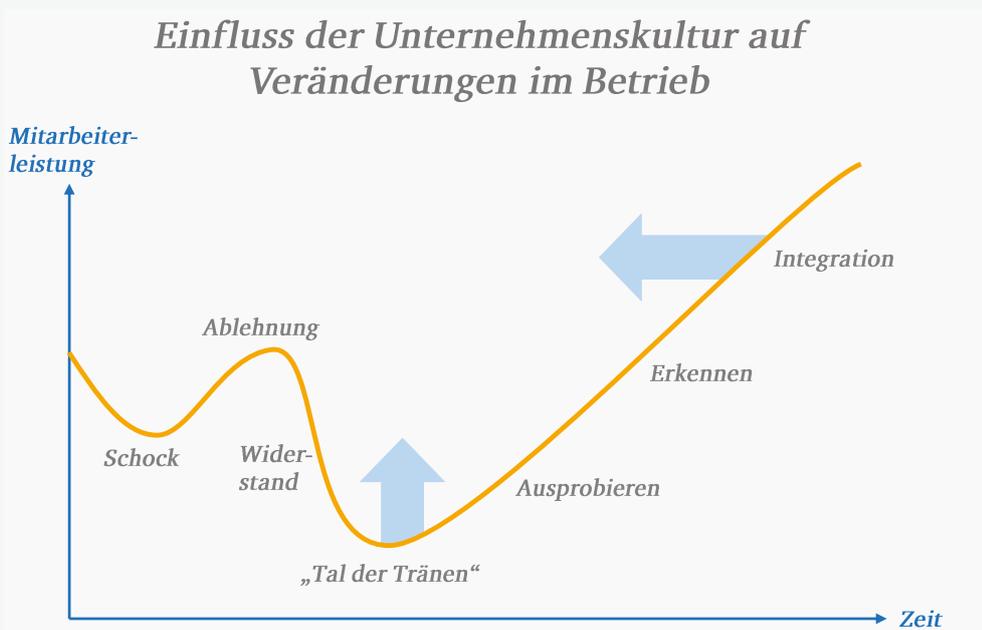
Wissenspyramide



Unternehmenskultur

Die Unternehmenskultur stellt auch für Werkzeugbaubetriebe einen wichtigen Teil für die krisensichere Ausrichtung der Organisation dar. Sie beschreibt die Werte, für welche das Unternehmen steht und umfasst das Verhalten, die Regeln und Umgangsformen zwischen den verschiedenen Stakeholdern. Für die Realisierung eines resilienten Werkzeugbaus muss also auch die Unternehmenskultur die Fokussierung einer krisensicheren Ausrichtung des Unternehmens berücksichtigen. Somit sind die unterschiedlichen Resilienzphasen (Prepare, Protect, Prevent, Respond, Recover) in der Kultur des Unternehmens zu verankern und auf den unterschiedlichen Resilienz-Ebenen zu betrachten. Einzuordnen ist die Unternehmenskultur auf der Makro-Ebene, setzt sich jedoch aus dem individuellen Umgang der Mitarbeitenden in den unterschiedlichen Ökosystemen auf der Mikro- und Meso-Ebene zusammen. So hat beispielsweise die Stimmung in der CAM-Programmierung genauso einen Einfluss auf die Unternehmenskultur, wie Unstimmigkeiten zwischen Konstruktion und Montage. Hier gilt es für die Werkzeugbaubetriebe, die einzelnen Stakeholder zu identifizieren und in Problemfällen ein aktives Miteinander zu fokussieren. Allgemein zeichnet sich eine resiliente Unternehmenskultur durch eine hohe Transparenz und Agilität der einzelnen Bereiche aus. Durch den offenen und kommunika-

tiven Umgang der Belegschaft untereinander und mit dem Führungspersonal werden Probleme und Unstimmigkeiten schneller ersichtlich und im besten Fall frühzeitig aktiv angesprochen. Ein gelebtes Fehlermanagement im Unternehmen trägt weiterhin dazu bei, den Mitarbeitenden zu vermitteln, dass Fehler passieren können und eine gemeinsame Ursachenbehebung im Vordergrund steht und nicht die individuelle Verantwortung der Fehlerverursacher. Gerade vor dem Hintergrund der zunehmenden Digitalisierung im Werkzeugbau werden weitere umfassende Veränderungsprozesse und einschneidende Maßnahmen auf den Werkzeugbau zukommen. Hier muss eine stabile Unternehmenskultur dabei helfen, die Phase der Konfusion zu verkürzen und schneller die Phase der Akzeptanz zu erreichen. Weiterhin muss die Agilität zur Förderung der Unternehmensresilienz in der in den internen Prozessen und Organisationsstrukturen verankert werden. Das heißt bspw., dass eine aktive Förderung der Selbstorganisation der Mitarbeitenden verfolgt und die Eigenverantwortung der Belegschaft vorangetrieben wird. Zusammenhänge und Aufgaben werden auch in den Werkzeugbaubetrieben immer vielschichtiger, warum ein Festhalten an klassischen Herangehensweisen und Hierarchien in einer so komplexen Branche wie dem Werkzeugbau langfristig nicht mehr erfolgsversprechend sind.





Resilienz durch Automatisierung

Schaltzentralen von Kraftwerken werden so konzipiert, dass alle Systeme im Krisenfall ohne manuelle Eingriffe bis zu mehrere Tage sicher funktionieren.

Messbarkeit von Resilienz

Im Allgemeinen kann ein Produktionssystem als resilient bezeichnet werden, wenn es die folgenden Anforderungen erfüllt [15].

- Kurze Reaktionszeit auf Störungen
- Nutzung intelligenter Komponenten (Fortschritt der Digitalisierung)
- Autonome Entscheidungen bzgl. Interaktion und Kommunikation innerhalb des Unternehmens
- Redundanz
- Robustheit und Anpassungsfähigkeit (Effizienz der Produktionsanlagen, Produktionsstätten, Produktportfolio)
- Nutzung von Daten über vergangene Störungen
- Simulation und Prognose potenzieller Szenarien
- Selbstregulation und -erholung

Zur Bewertung der eigenen Resilienz im Unternehmen und zum wettbewerbsorientierten Vergleich können Key Performance Indikatoren (KPI) anhand der beschriebenen Anforderungen definiert werden. Sie sind die definitorischen Eigenschaften eines Einflussfaktors, die als risikomindernd / resilient gelten. Ein separater Resilienzindex, welcher durch die Verrechnung der einzelnen KPI gebildet wird, stellt sicher, dass bei einem wettbewerblichen Vergleich keine kritischen Informationen das Unternehmen verlassen und Rückschlüsse auf Firmengeheimnisse getroffen werden können. Vergleichbar zu einem Auditierungsprozess können die KPI von einer neutralen Entität geprüft und in einen Resilienzindex überführt werden. Dies schafft Vertrauen in das Ergebnis einer Resilienzbewertung.

Im Folgenden werden in Anlehnung an die Anforderungen an ein resilientes Produktionssystem KPI zur Messung der Resilienz empfohlen und den drei Resilienzebenen zugeordnet. Zudem folgen die KPI der Klassifikation in antizipative und reaktive Indikatoren. Ein reaktiver Indikator beschreibt die Fähigkeit des Unternehmens, auf Disruptionen schnellstmöglich zu reagieren und ein antizipativer Indikator definiert die Fähigkeit, Störungen und Unregelmäßigkeiten im Betriebsablauf vorherzusehen.

KPI auf der Betrachtungsebene der Unternehmensgruppen

Zur Messung der Resilienz auf Makrodimensionsebene sind diejenigen KPI von Bedeutung, die ein Unternehmen bei Störungen zu Robustheit, Anpassungsfähigkeit und kurzen Reaktionszeiten befähigen. Die Diversität von produzierenden Unternehmen entscheidet im Störfall über die antizipative Resilienz. Je mehr Branchen ein Unternehmen beliefert (Branchendiversität) und je größer das Produktportfolio (Produktportfoliodiversität) ist, desto schneller kann ein Werkzeugbauunternehmen auf Störungen wie Einfuhrbeschränkungen reagieren. Die Bedeutung der Diversität für die Resilienz gegenüber Störungen veranschaulicht der Deloitte Resilience Report 2021. Der Anteil der deutschen CXO, die ihrer Meinung nach die Krise gut überstanden haben, forcierten bereits vor 2020 Diversität entlang der Lieferketten (46 %), bei den Erlösströmen (56 %) und bei Geschäftsmodellen sowie Marktmöglichkeiten (59 %) [10].

Anteil der deutschen CXO, die ihrer Meinung nach die Krise mithilfe der folgenden Schlüsselaktivitäten gut überstanden haben

Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle und Marktmöglichkeiten



Diversifizieren der Erlösströme

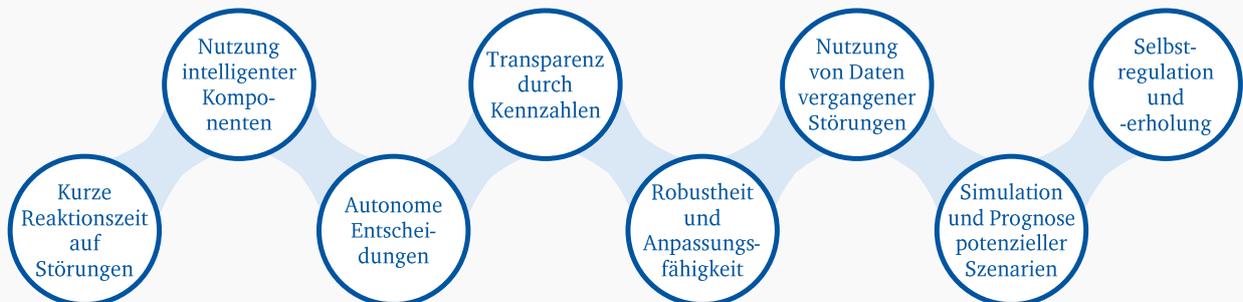


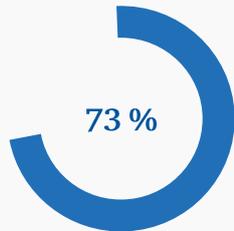
Diversifizieren der Supply Chain unter vielen Partnern



■ Sollen nach 2020 umgesetzt werden
■ Vor 2020 implementieren

Anforderungen an ein resilientes Produktionssystem





Anteil der Unternehmen, die im Zuge der Covid-19 Pandemie die Stärkung bzw. Sicherung der Lieferkette forcierte

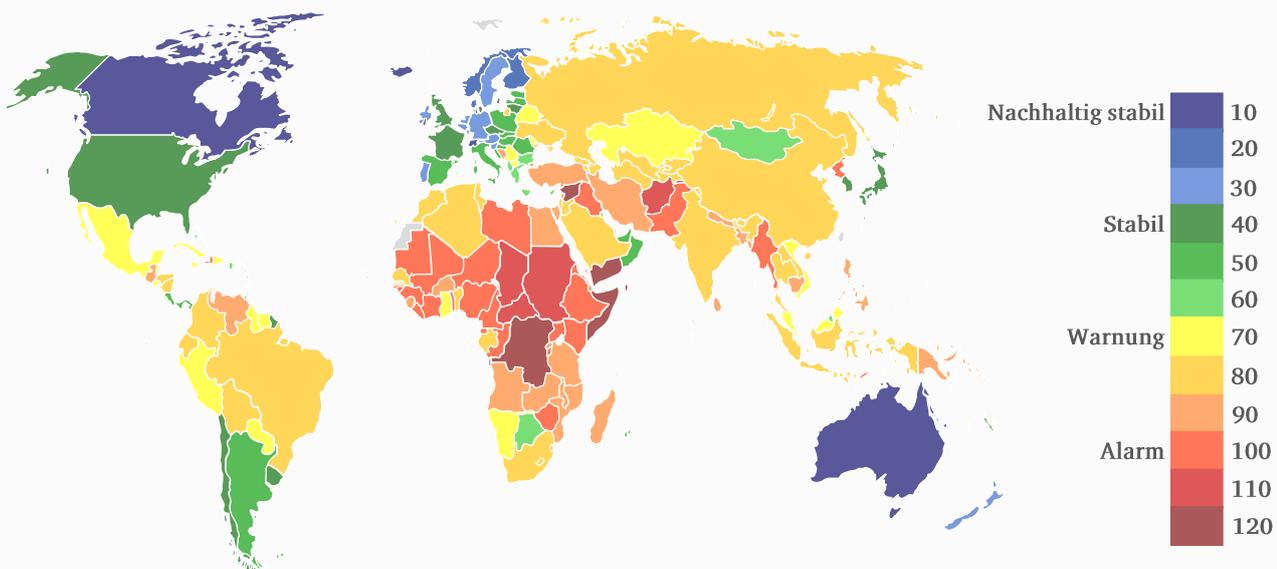
Die Kennzahl **Time-to-market** ist eine weitere Kennzahl zur Messung der reaktiven Resilienz. Die benötigte Zeit von der Produktentwicklung bis zur -platzierung am entsprechenden Markt entscheidet über die Geschwindigkeit der Reaktion auf Marktveränderungen. Die Bewertung der Liefertreue kann sowohl hinsichtlich des eigenen Unternehmens (reaktiv) als auch hinsichtlich sämtlicher Wertschöpfungspartner (antizipativ) von Relevanz sein. Je höher die eigene Liefertreue ist, desto schneller kann auf Störungen reagiert werden. Die Berücksichtigung der Kennzahl vor Vertragsschluss mit Lieferanten kann als antizipatives Resilienzmanagement bezeichnet werden. Während der Corona-Pandemie galt die Stärkung bzw. Sicherung der Lieferketten in der produzierenden Branche mit ca. 73 % als TOP 3 Maßnahme im Resilienzmanagement [16].

Die Anzahl der Produktionsstätten für die gleiche Produktkategorie kann als antizipativer KPI bzgl. der Aussage der Robustheit und Anpassungsfähigkeit genutzt werden. Bei der Standort- sowie Lieferantenwahl ist

der sog. Fragile State Index (FSI) des jeweiligen Landes zu berücksichtigen (antizipativ). Dieser informiert über die Stabilität eines Landes hinsichtlich der Faktoren Kohäsion, wirtschaftliche Lage, politische Situation und soziale Aspekte. Je mehr Lieferanten oder eigene Produktionsstandorte in einem Land mit hohem FSI liegen, desto weniger resilient ist ein Unternehmen. Der FSI ist aktuell ohne Relevanz für den deutschen Werkzeugbau. Ein Lieferverhältnis mit Partner aus Länder mit sehr hoher Instabilität (Syrien, Südsudan, Somalia, DR Kongo, Jemen) oder hoher Instabilität (Afghanistan, Sudan, Tschad, Zentralafrikanische Republik) existieren aufgrund des geringen Werkzeugbaumarktes nicht.

Die letzte Kennzahl auf Makrolevel wirkt sich ebenfalls auf das antizipative Resilienzmanagement aus. Die Innovationsquote definiert den Anteil neuer Produkte im Produktportfolio und kann als Indikator für die Anpassungsfähigkeit bzgl. marktseitiger Volatilität betrachtet werden.

Globale Zuordnung FSi

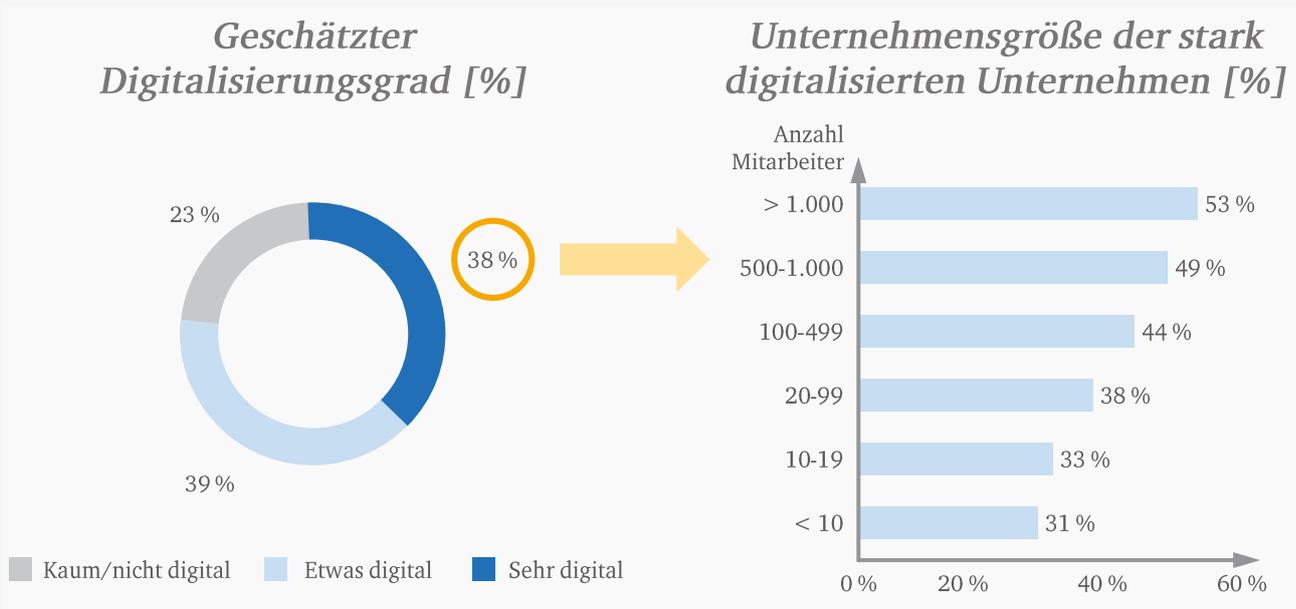


KPI auf der Betrachtungsebene der Produktionsstätten

Auf Meso-Dimensionsebene können zwei Kennzahlen für den Werkzeugbau herangezogen werden, um die eigene Resilienz zu messen. Der Indikator Lagerumschlagshäufigkeit gibt an, wie oft ein durchschnittlicher Lagerbestand während eines Rechnungszeitraumes komplett aus einem Lager entnommen und ersetzt werden kann. Sie gilt als reaktives Maß für Resilienz und trägt zur Robustheit und Anpassungsfähigkeit sowie zu kurzen Reaktionszeiten bei. Als Beispiel für den Werkzeugbau kann hier die Anzahl von vorhandenen Fräswerkzeugen oder Normalien mit in die Berechnung einfließen. Die unternehmensweite Vernetzung der Produktion kann als zweiter KPI definiert werden (Antizipatives Resilienzmanagement).

In fünf Stufen kann der eigene Vernetzungsgrad bewertet werden, ausgehend von Stufe 0 (keine Vernetzung mit anderen Unternehmensbereichen) bis hin zu Stufe 4, in der die Produktion zentral oder dezentral überwacht und gesteuert wird. Je höher der Vernetzungsgrad ist, desto kürzer ist die Reaktionszeit, desto mehr Daten können zu Simulations-/Analysezwecken eingesetzt und desto besser können Störungen prognostiziert werden. Sowohl bei der abteilungs- als auch bei der unternehmensübergreifenden Vernetzung besteht aktuell noch großer Handlungsbedarf. Während der Vertrieb und Einkauf im Unternehmen als gut vernetzt bezeichnet werden kann, ist ein Datenaustausch der Abteilung Personal mit Bereichen wie Logistik (14,2 %) oder FuE (13,7 %) sehr schwach ausgeprägt.

Der Zusammenschluss mit externen Partnern hingegen ist stark von der Unternehmensgröße abhängig [17]. Abteilungen von Kleinunternehmen sind maximal zu 22 % mit anderen Bereichen fremder Unternehmen vernetzt. Bei Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitenden können Werte bis zu 50 % ermittelt werden. Insbesondere kleine Unternehmen müssen im Sinne einer Resilienzsteigerung ihren Vernetzungsgrad erhöhen, um von Informationen zu profitieren.

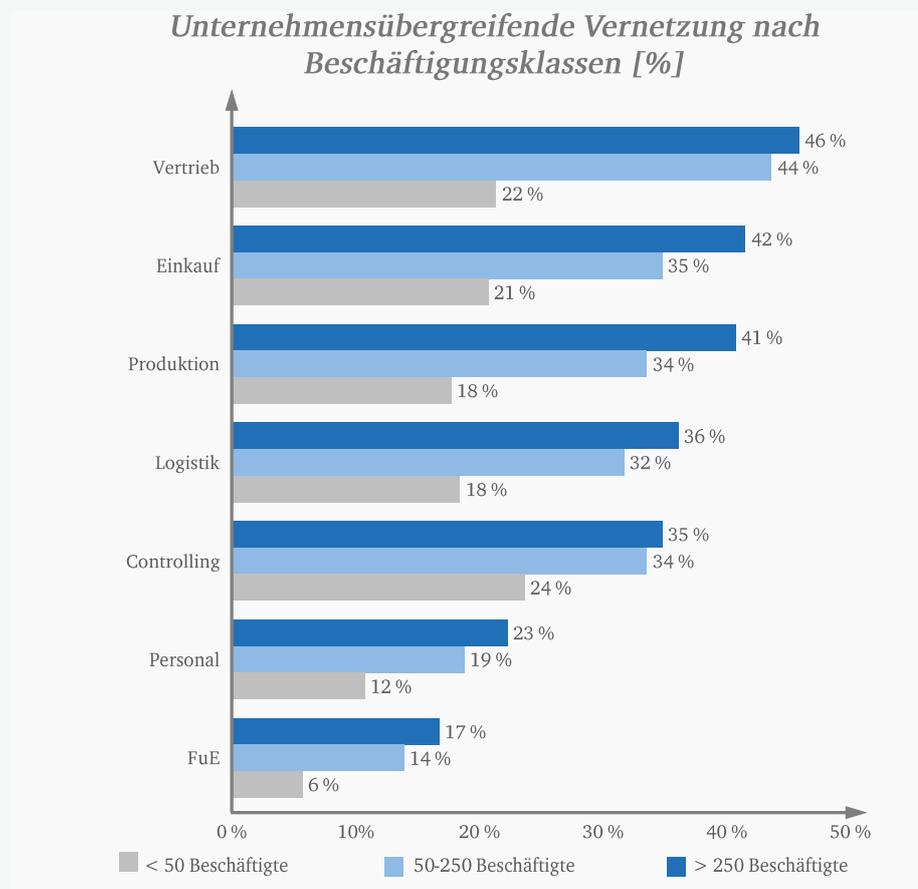


KPI auf der Betrachtungsebene des Shopfloors

Auf Shopfloorebene können u. a. der Nutzungsgrad der Maschinen oder die Kapazitätsauslastung als KPI für reaktive Resilienz betrachtet werden. Die durchschnittliche Kapazitätsauslastung bezogen auf die jährliche Verfügbarkeit betrug über die letzten fünf Jahre im Werkzeugbau in der Frästechnologie nur 34,1 %. Einerseits repräsentiert eine hohe Kapazitätsauslastung einen produktiven, robusten Prozess ohne große Stillstandzeiten. Andererseits ist die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit bei Störungen eingeschränkt. Ausfälle an einer Maschine können durch andere Maschinen mit hoher Auslastung kaum / nicht kompensiert werden (reaktive Resilienz). Dies verdeutlicht den Widerspruch zwischen traditioneller (hohe Auslastung) und neuer / moderner (hohe Flexibilität) Fertigung. Eine Balance zwischen beiden Varianten gilt es zu finden.

Antizipativ hingegen gibt der Autonomieindex an, welcher Anteil des Prozesses autonom ablaufen kann und somit zur antizipativen Resilienz beiträgt. Im Jahr 2020 gaben 17 % der Befragten an, selbstlernende Systeme einzusetzen, welche die verfügbaren Daten automatisiert analysieren. Die folgenden vier KPI können unter dem Begriff Datenmanagement im Unternehmen zusammengefasst werden. Im Allgemeinen steht die digitale Transformation nur bei 61 % der Unternehmen auf der Agenda. Der Digitalisierungsgrad korreliert stark mit der Anzahl der Beschäftigten [18] [19].

Der Anteil integrierter Sensorik und Aktorik legt sowohl die Grundlage für jegliche KI-Anwendungen zur Prädiktion von Maschinenausfällen, Optimierung der Wartung oder Auslegung von Maschinen als auch für eine durchgehende Überwachung des Anlagenzustandes für eine minimale Reaktionszeit



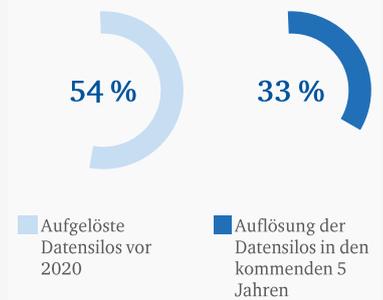
bei maximaler Anpassungsfähigkeit (reaktiv, antizipativ). Der Indikator kann anhand von fünf Stufen klassifiziert werden, ausgehend von Stufe 0 (keine Sensoren/Aktoren) bis zu Stufe 4 (eigenständiges Agieren der Maschinen mittels Sensoren). Während im Jahr 2017 noch 76 % der Befragten der Meinung waren, dass die installierte Sensorik die relevanten Daten erfasst, reduziert sich dieser Anteil im Jahr 2020 auf 43 %. Der Anteil integrierter Sensorik ist somit noch nicht hinreichend ausgebaut.

Sofern eine Datenbasis via Sensor- und Aktorintegration gewährleistet ist, zeigt die binäre Abfrage nach der **Verfügbarkeit eines MES**, ob infolge der geschaffenen Transparenz der Daten schneller auf Störungen reagiert werden kann. Um Daten antizipativ und zu Analyse Zwecken nutzen zu können, spielt der Grad der Datenverarbeitung eine entscheidende Rolle, da mehr Informationen in Abhängigkeit der Nutzung ausgewählter Systeme verfügbar gemacht werden können. Eine Bewertung reicht von Stufe 0 (Daten in keinem System aufgenommen) bis zu Stufe 4 (vollständige Vernetzung aller Datenquellen zur Optimierung der Prozessabläufe durch echtzeitfähige Edge-Komponenten). Die Bedeutung der Datenverarbeitung für die Re-

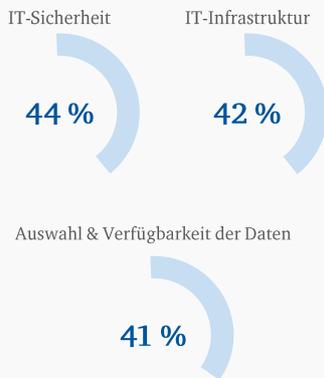
silienz wird anhand der folgenden Statistik deutlich. Der Anteil der deutschen CXO, die ihrer Meinung nach die Corona-Pandemie gut überstanden haben, lösten zu 54 % ihre Datensilos bereits vor 2020 auf. 33 % planen dies innerhalb der kommenden fünf Jahre.

Der Grad der datenunterstützten Maschinenwartung gilt als Maß für antizipative Resilienz und hat viele Nutzenaspekte für den Werkzeugbau [20], welche von 80 % der Befragten schon während bzw. im ersten Projektjahr erwartet werden. Kein Monitoring (Stufe 0) bedeutet kein vorausschauendes Erhalten der Funktionalität der Maschine und somit keine Robustheit gegenüber Störungen. Können Maschinen hingegen selbstständig Maßnahmen zur Steuerung und Regelung in Echtzeit einleiten (Stufe 4), gilt der Prozess als maximal antizipativ resilient. Die Herausforderungen für eine datenunterstützte Maschinenwartung haben laut der Befragten sowohl technische als auch nicht technische Hintergründe. Die IT-Sicherheit und IT-Infrastruktur gelten als die größten technischen Hürden. Die Sorge des hohen Implementierungsaufwands und des Verhältnisses von Kosten und Nutzen gelten als nicht technische Herausforderungen.

CXO, die ihrer Meinung nach die Krise gut überstanden haben und ihre Haltung zur Auflösung von Datensilos



Technische Herausforderungen (TOP 3)



Nicht-Technische Herausforderungen (TOP 3)



Resilienz Meso-Dimension

	Stufe 0 	Stufe 1 	Stufe 2 	Stufe 3 	Stufe 4 
Vernetzungsgrad	Keine Vernetzung der Produktion mit anderen Unternehmensbereichen	Informationsaustausch über Mail/Telekommunikation	Einheitliche Datenformate/Regeln zum Datenaustausch	Automatisierter Informationsaustausch und abteilungsübergreifend vernetzte Datenserver	Zentrale/dezentrale Produktionsüberwachung/-steuerung

Resilienz Mikro-Dimension

	Stufe 0 	Stufe 1 	Stufe 2 	Stufe 3 	Stufe 4 
Anteil integrierter Sensorik und Aktorik	Keine Nutzung von Sensoren/Aktoren	Sensoren/Aktoren sind funktionsfähig und eingebunden in der Maschine	Sensordaten werden systematisch gespeichert/live getracked	Sensordaten werden für vergleichende Analyse ausgewertet	Maschine/Produkt reagiert eigenständig und echtzeitfähig mittels Sensoren/Aktoren (Selbstoptimierung)

	Stufe 0 	Stufe 1 	Stufe 2 	Stufe 3 	Stufe 4 
Grad der Datenverarbeitung in der Produktion	Keine Datenaufnahme in Systemen/Werker betrachten die Maschinen manuell	Systematische Datenerhebung/Speicherung der Daten zur Dokumentation	Datenvisualisierung und statistische Analyse (z. B. durch Prozessingenieur)	Datenverarbeitung durch Online Tools und Unterstützung bei der Produktion	Vernetzung aller Datenquellen zur Optimierung der Prozessabläufe durch echtzeit-fähige Edge Komponenten

	Stufe 0 	Stufe 1 	Stufe 2 	Stufe 3 	Stufe 4 
Grad der daten-unterstützten Maschinen-wartung	Kein Monitoring der Maschinen/Produkte	Digitale Erfassung des Betriebszustandes/Einsatz lokaler Anzeigeräte	Ampelsystem gibt Probleme an/ Detektion von Ausfällen	Konkrete Handlungsempfehlung durch die Maschine zur Herstellung der eigenen Funktionsfähigkeit	Maschinen können selbstständig Maßnahmen zur Steuerung/ Regelung in Echtzeit einleiten

Smarte Resilienzservices

Im Zuge der Digitalisierung von Produktionssystemen und –prozessen bietet Künstliche Intelligenz die Möglichkeit, Prozessdaten zu analysieren und in einen Kontext zu bringen, sodass in Echtzeit interne Störungen im Material, von Werkzeugen, von Maschinen oder auch von Abläufen oder Tätigkeiten identifiziert und Handlungsalternativen strukturiert und optimiert abgeleitet werden können [21]. KI befähigt zu intelligentem Verhalten. Dieses Merkmal ist eine entscheidende Anforderung an ein resilientes Produktionssystem. Der Einsatz von KI ist somit im vorliegenden Kontext einsetzbar, um Resilienz messbar zu machen und in sog. smarten Resilienzservices zu operationalisieren. Sie schaffen die Grundvoraussetzung, durch Datenanalyse, Anomalieerkennung und Trendprojektionen auf Basis äußerst heterogener, verteilter und sich permanent ändernder Umgebungen künftige Störungen zu antizipieren und Handlungsempfehlungen zu identifizieren. Methoden des Machine Learnings sind besonders geeignet, um datenbasierte Prognosen und Handlungsempfehlungen zu treffen [22]. Formale Planungs- und Inferenzmethoden hingegen dienen einem kontrollierten Einsatz von strukturiertem Wissen.

Aktuell nutzen nur 11 % der befragten Maschinenbauunternehmen fortgeschrittene Analysen unterschiedlicher Datenherkunft und -struktur. 14 % planen oder diskutieren einen Einsatz. Beim Thema KI sehen sich laut einer Studie der Boston Consulting Group ein

Viertel der Befragten als Vorreiter, jedoch ein Fünftel als Nachzügler. Der Einsatz von KI wird aktuell nicht explizit mit der Steigerung der multidimensionalen Resilienz in Verbindung gebracht. Die Reduktion von Stillstandzeiten und Wartungskosten und die Erhöhung der Lebensdauer von Maschinen sind die Haupttreiber für prädiktive KI-Projekte.

Smarte Resilienzservices können jedoch auf zwei Ebenen Anwendung finden:

1. Optimierung einer lokalen Resilienzfähigkeit von Produktionsunternehmen
2. Optimierung einer übergreifenden Resilienzfähigkeit ganzer Produktionssysteme

Im Folgenden wird anhand von Beispielen die Funktion von smarten Resilienzservices für den Werkzeugbau beschrieben.

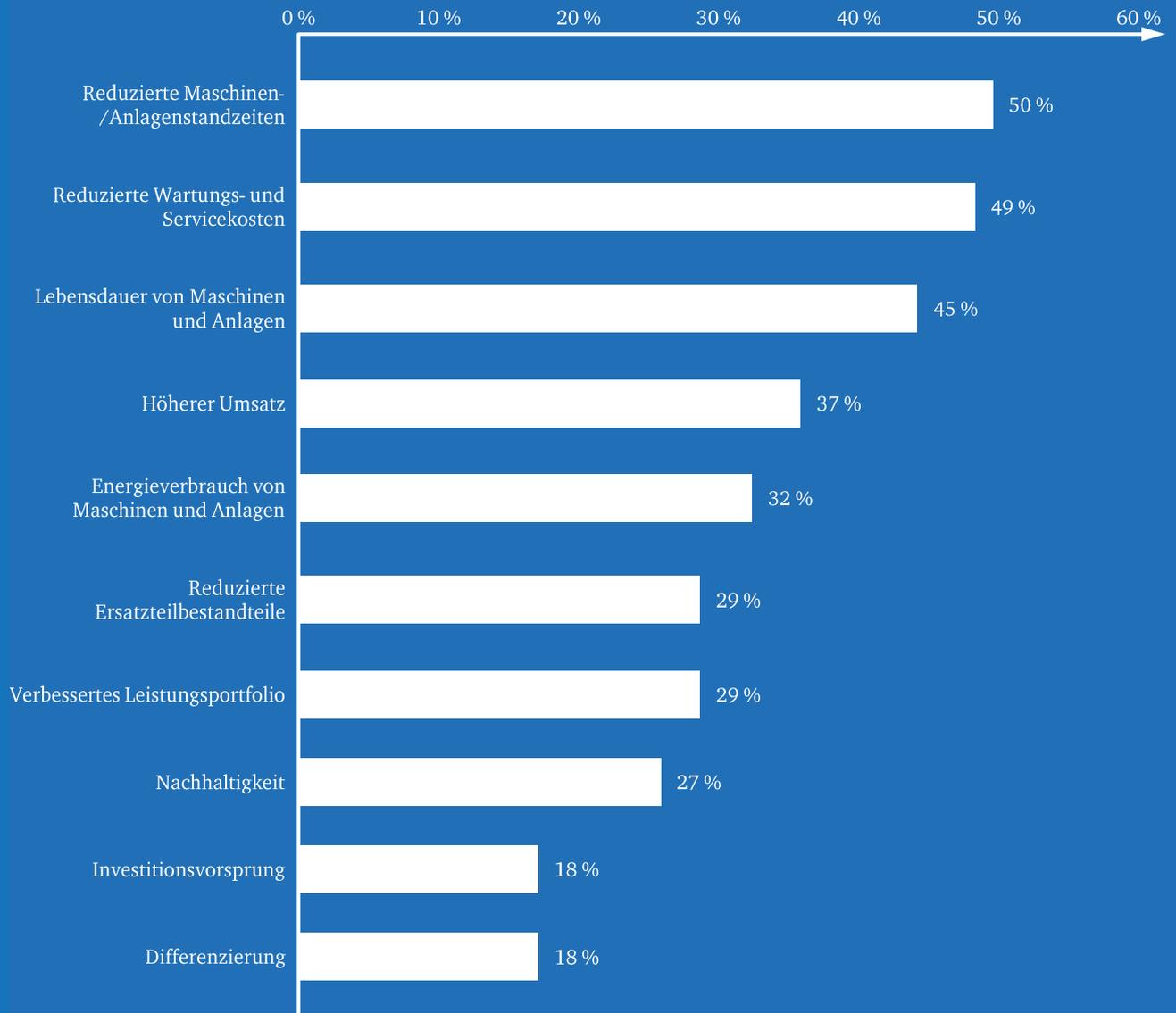
Ein antizipativer, ML-gestützter Resilienzservice auf Makro-Ebene basiert auf der Verknüpfung, Analyse und Interpretation von Daten aus dem eigenen Datenspeicher sowie aus öffentlich zugänglichen Datenbanken. In einem festen zeitlichen Rhythmus werden die Daten gesammelt, zusammengefasst und potenzielle Events mithilfe von Methoden des Machine Learnings aufgedeckt. Die Prognose von potenziell eintretenden Szenarien wird mithilfe eines derartigen Services möglich. Für den Werkzeugbau sieht ein derartiger Service wie folgt aus. Die optimale Nutzung vollausgelasteter Fräsmaschinen wird durch die Versorgungssicherheit mit Rohmaterial bestimmt.

Ein Resilienzservice, welcher bspw. Daten aus Statistiken des Deutschen Speditions- und Logistikverbandes, von Social Media sowie Nachrichten- und Verkehrsportalen mit den unternehmensinternen Auftrags- und Lagerbestandsinformationen verknüpft, prognostiziert mit geeignetem zeitlichen Vorlauf und warnt vor potenziellen Lieferverzögerungen des benötigten Rohmaterials. Er offeriert zusätzlich Maßnahmen, um einen potenziellen Engpass zu vermeiden. Nach einer Simulation des potenziellen Events unter Angabe von ausgewählten Randbedingungen können Maßnahmen erprobt und rechtzeitig eingeleitet werden. Tritt die Störung wie prognostiziert ein, trägt der Werkzeugbau durch eine Bestätigung der Prognose dazu bei, dass der ML-basierte Service verbessert wird.

Eine KI-gestützte Prognose des Werkzeugverschleißes auf Basis der Analyse von Maschinenzustandsdaten aus Sensorsignalen verkürzt die Diagnosezeit und optimiert die reaktive Resilienz auf Mikro-Ebene. Künftige Störungen können infolge des entwickelten Musters des smarten Resilienzservices antizipiert und somit Ausschuss reduziert werden. Eine Fachkraft betreut den Fräsprozess zur

Herstellung eines Werkzeugs. Der Durchlauf erfolgt kontinuierlich ohne Störungen. Im Hintergrund werden Kräftebedarf und Sensorsignale aufgenommen. Der Service gibt basierend auf den Anlagendaten eine Hinweismeldung aus, warnt bspw. vor prozentualen Abweichungen der Abtragraten und empfiehlt präventiv einen Fräserwechsel. Gemeinsam mit den Mitarbeitenden kann der optimale Zeitpunkt einer Wartung der Maschine eingeplant werden. Das Wissensmanagement in Unternehmen des Werkzeugbaus kann das Potenzial von smarten Resilienzservices insbesondere auf Mikro-Ebene maximieren. Das Wissen, welches aus den Machine Learning Algorithmen resultiert, wird meist nicht bewertet und kann nicht automatisch wiederverwendet werden. Ein hybrides Experten-Machine-Learning System mit einer menschlichen Schnittstelle, wie z. B. dem PC, bietet die Möglichkeit, menschliche Expertise und ML-Wissen miteinander zu verknüpfen und zu verifizieren, sodass bspw. eine Vorabauslegung von Maschinen und Wartungsintervallen optimiert werden kann. Der aufwendige Prozess des Wissensmanagements und -transfers hätte somit einen doppelten Einsatzzweck.

Anteilige Darstellung der Einflussfaktoren auf eine Entscheidung für KI-Projekte [%]



Resilienz durch Robustheit

Schweizer Taschenmesser sind durch ihre robuste Bauweise und hohe Qualität weltweit bekannt. Einer der vielfältigen Helfer kam 1983 sogar bei einer Space Shuttle-Mission zum Einsatz.



Zusammenfassung

Die Corona-Pandemie hat den global vernetzten Wertschöpfungsnetzwerken die große Schwäche der internationalen Abhängigkeiten aufgezeigt. Aus diesem Grund beschäftigen sich aktuell viele Unternehmen branchenübergreifend mit der Thematik der Resilienz. Gerade bei den Werkzeugproduzenten in Deutschland zeigt sich hier gerade durch die Vorbelastung durch die Mobilitätswende ein ambivalentes Bild bei der aktuellen wirtschaftlichen Situation. Während einige Unternehmen nach wie vor um ihre zukünftige Existenz bangen müssen, können sich andere vor einer boomenden Auftragslage durch den Wiederanlauf der Wirtschaft kaum retten. In dieser Studie wurden in den Dimensionen „Leistungsspektrum“, „Ressourcen“, „Prozess“ und „Mitarbeitende“ Handlungsfelder aufgezeigt, welche gerade die krisensicheren Werkzeugbaubetriebe in der Vergangenheit verfolgt haben, um die Resilienz des eigenen Unternehmens zu erhöhen. Weiterhin wurden aktuelle Trends und Entwicklungen aufgezeigt, welche die Branche Werkzeugbau verfolgen sollte, um die Möglichkeiten der Digitalisierung zukünftig auch zur Steigerung der Resilienz nutzbar zu machen.

Leistungsspektrum

Die Diversität im Leistungs- und Kundenspektrum ist im Werkzeugbau ein wichtiger Stellhebel für die Resilienz. Durch ein breites Leistungs- und umfassendes Dienstleistungsangebot vor und nach Auslieferung des Werkzeugs, können zusätzlich zur klassischen Leistungserbringung weitere Umsatzmöglichkeiten geschaffen werden. Die Begleitung des Werkzeugs über den gesamten Lebenszyklus hinweg erhöht die Kundenbindung. Insbesondere das marktseitige Angebot und die Nutzung von digitalen Lösungen zur Realisierung von intelligenten Werkzeugen steigert den Kundennutzen und hilft dem Werkzeugbaubetrieb, seine Produkte konsequent zu verbessern. Zusätzlich sollten Werkzeugbaubetriebe kundenseitig ein breites und

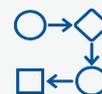
branchenübergreifendes Spektrum realisieren, um Abhängigkeiten zu vermeiden. Ein systematisches Lieferantenmanagement bestehend aus mehreren regionalen und überregionalen Zulieferern sichert die eigene Produktion bei Lieferengpässen.

Ressourcen

In der Dimension Ressourcen ist insbesondere die Konzeptionierung der mechanischen Fertigung unter Berücksichtigung aktueller, aber auch zukünftiger Rahmenbedingungen zu betrachten. Ein flexibel ausgelegter Maschinenpark kann hierbei schnell auf Änderungen reagieren und auf volatile Auftragspektren reagieren. Die Sicherstellung der Anlagenverfügbarkeit kann hierbei durch Predictive Maintenance realisiert werden, während neue Technologien, wie additive Fertigungsverfahren das Fähigkeitsspektrum des Werkzeugbaus erweitern. Weiterhin sind Werkzeugbaubetriebe mit neuen Herausforderungen, wie der IT-Sicherheit, Nachhaltigkeit und ökologischer Verantwortung konfrontiert.

Prozess

Prozesseitig müssen sich Werkzeugbaubetriebe vermehrt um eine datengetriebene Wertschöpfung bemühen. Die Nutzung von echtzeitnahen Daten erhöht gleichermaßen die Transparenz und befähigt den Werkzeugbau dazu die Prognosefähigkeit in der Planung und Steuerung zu erhöhen. Zusätzlich ist in der Dimension Ressourcen die Flexibilität des Maschinenparks hervorzuheben. Das bewusste Vorhalten von Kapazitäten für späte Werkzeugänderungen oder Eilaufträge kann hier eine strategische Entscheidung sein, um die Reaktionsgeschwindigkeit des Werkzeugbaus zu fördern. Durch die Nutzung von Daten entlang der Wertschöpfung können Prognosemodelle erstellt werden, welche das Resultat der Fertigungstechnologie hinsichtlich Zeit, Qualität und Kosten vorhersagen. Diese Modelle werden benötigt, um adaptive Prozessketten im Werkzeugbau zu ermöglichen, welche die umfassende Komplexität der internen Abläufe ohne Einbu-



ßen in der Produktivität und Flexibilität in der Fertigung ermöglichen können. Durch die kontinuierliche Prozessoptimierung mit Hilfe von Automatisierungslösungen ist der Werkzeugbau dazu in der Lage selbst bei geringer Verfügbarkeit seiner Facharbeiter die Produktion aufrecht zu erhalten. Vor allem die durch die Covid-19-Pandemie hervorgerufenen Kontaktbeschränkungen und Hygienemaßnahmen konnten Werkzeugbaubetriebe mit einem hohen Maß an Automatisierung besser meistern.



Mitarbeitende

Krisenfeste Mitarbeitende durch attraktive Unternehmenskultur und individuelle Förderung der Fähigkeiten bilden einen hohen Mehrwert für die Resilienz von Unternehmen. Vor allem Mitarbeitende mit einem hohen Maß an Eigenverantwortung identifizieren sich mit ihrem Unternehmen und bringen innovative Ansätze in Krisenzeiten in die Unternehmensstrategie mit ein. Ein zusätzlich hohes Qualifikationsniveau der Mitarbeitenden durch ein systematisches Wissensmanagement hilft dem demografischen Wandel Stand zu halten.

Resilienz mit Augenmaß

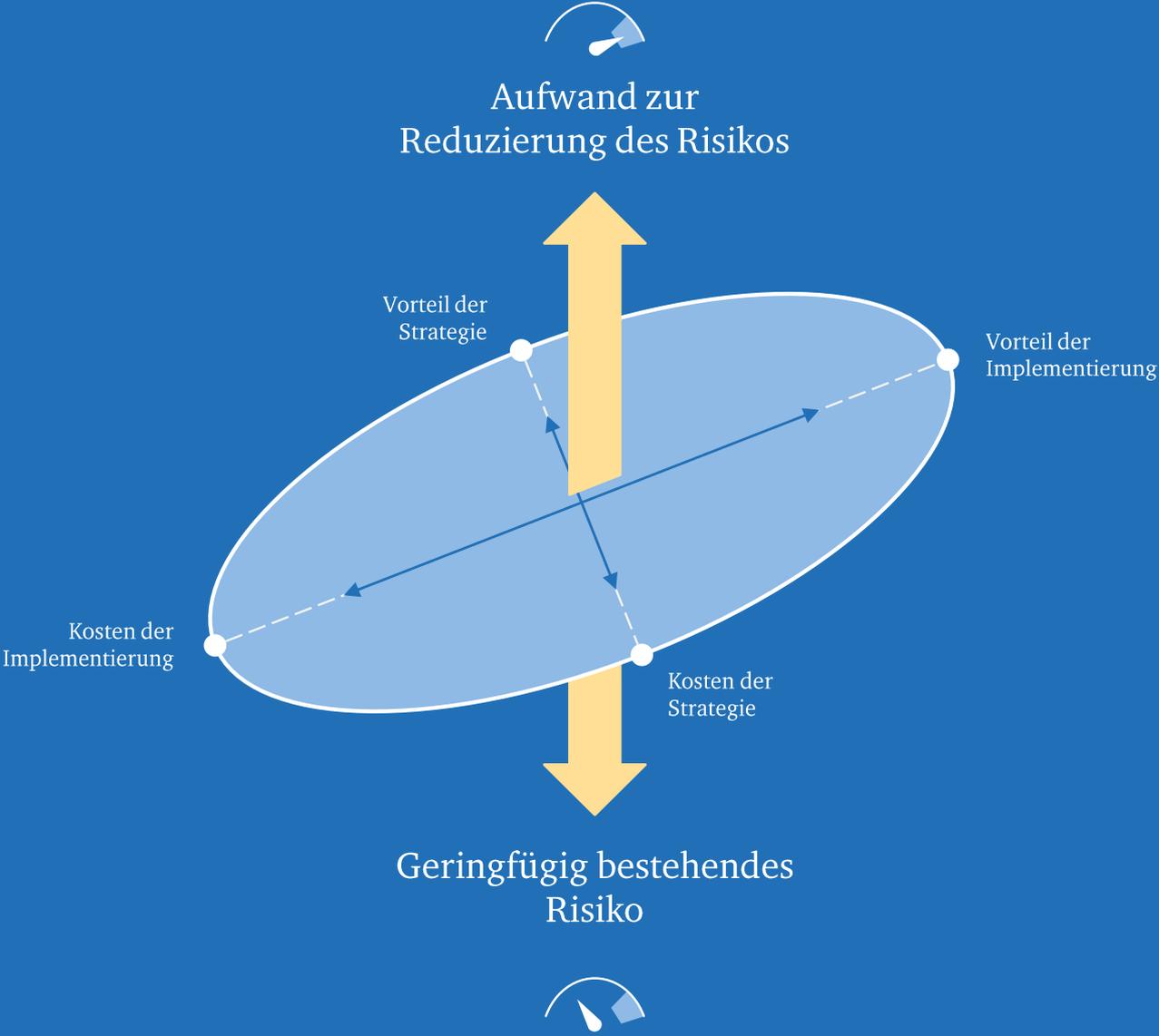
Wichtig bei der Integration von Resilienz ist das richtige Maß und die richtigen Methoden unternehmensspezifisch auszuwählen. Rückblickend hätte niemand das komplette Ausmaß der Covid-19-Pandemie, das wir heute (2021) kennen, vorhersagen können. Auch eine Vorbereitung auf alle möglichen Auswirkungen wäre nicht wirtschaftlich in die Unternehmensstrategie integrierbar gewesen, aber definitiv eine bessere Vorbereitung für einen solchen Krisenfall. Dieser Umstand führt zum Polylemma der Resilienz. Auf der einen Seite ist wie in der vorliegenden Studie gezeigt ein systematisches Resilienzmanage-

ment von sehr hoher Bedeutung, auf der anderen Seite befindet sich der Werkzeugbau in einem volatilen Umfeld mit sinkenden Margen und Preisen, sodass Resilienz möglichst kostenneutral umgesetzt werden muss. Aus diesem Grund ist es essentiell, unternehmensspezifisch die eigene Situation zu analysieren und zu bewerten, wo man sich im Polylemma der Resilienz wiederfindet. Resilienz wird zukünftig neben der Nachhaltigkeit einen Wettbewerbsfaktor auf dem global hart umkämpften Markt im Werkzeugbau darstellen. Somit kann Resilienz zukünftig als Differenzierungsmerkmal mit in die Vertriebsstrategie eingefügt werden.

Ausblick

Die deutsche Branche Werkzeugbau hat durch ihre Stellung als Produktionsbefähiger und durch die hohe Komplexität, welche im operativen Tagesgeschäft abgebildet werden muss, schon immer Teilaspekte resilienter Unternehmen adressiert. Durch die Innovationskraft der Branche und die Adressierung von aktuellen Trends, kann sie sich zukunftsicher aufstellen. Hierbei sind der Grad und die Geschwindigkeit der Umsetzung von Ansätzen zur Digitalisierung von Produkten und Prozessen ein entscheidender Faktor. Einen Mehrwert für den Kunden erreicht der Werkzeugbau durch langfristige Partnerschaften. Dafür müssen die Werkzeugbaubetriebe die Resilienz auf der Makro-, Meso- und Mikro-Ebene fördern. Weiterhin kann Antifragilität als kommende Evolutionsstufe der Resilienz bzw. die konzeptionelle Erweiterung der Resilienz betrachtet werden [26]. Auch hier ist das Eintreten einer Störung die treibende Kraft, im Unterschied zur Resilienz hingegen wird ein besserer Systemzustand nach der Störung forciert. Die Basis für eine derartige Entwicklung ist jedoch ein optimiertes Resilienzmanagement.

Polylemma der Resilienz



Literatur

- [1] Trauth, D.; Bergs, T.; Feuerhack, A.; Gülpen, C.; Janzen, S.; Maass, W.; Mattfeld, P.; Niemietz, P.; Piller, F.: #SPAICER — The Vision: AI-based Resilience Management in Production Engineering; <https://medium.com/spaicer-resilient-manufacturing/spaicer-ai-based-resilience-management-in-production-engineering-1d0c39588a2f>
- [2] Thun-Hohenstein, L.; Lampert, K.; Altendorfer-Kling, U.: Resilienz – Geschichte, Modelle und Anwendung. *Z Psychodrama Soziom* 19, 7–20 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11620-020-00524-6>
- [3] <https://www.vdi-wissensforum.de/content/handlungsfahig-im-projekt/>
- [4] Brecher, C.: *Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer*; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011; ISBN 978-3-642-20693-1; <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20693-1>
- [5] <https://cordis.europa.eu/article/id/250862-new-set-of-guidelines-bring-crisis-resilience-to-the-next-level/de>
- [6] DIN ISO 31000
- [7] https://www.allianz.com/de/economic_research/publikationen/spezialthemen-fmo/2021_01_19_AllianzRiskBarometer2021.html
- [8] Zeit Online, dpa, Reuters, AFP & zz. (2016, 19. August). Wolfsburger Golf-Produktion steht für eine Woche still. Zugriff: 13. August 2019. Abgerufen von <https://www.zeit.de/mobilitaet/2016-08/volkswagen-golf-wolfsburg-produktion-stillstand>
- [9] https://www.vdma.org/documents/105628/47618024/Corona%20Blitzumfrage_1584444027695.pdf/d7a1ce97-7cb8-1983-d77b-024fc7c46fef
- [10] VDMA 2021 Konjunkturgrafiken zur Jahrespressekonferenz
- [11] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1115082/umfrage/corona-krise-kurzarbeit-im-verarbeitenden-gewerbe/>
- [12] Deloitte Resilience Report 2021: Building the Resilient Organization
- [13] Hamel, G.; & Välikangas, L. (2003, September). The quest for resilience; <https://hbr.org/2003/09/the-quest-for-resilience>
- [14] Trauth, D.; Bergs, T.; Feuerhack, A.; Gülpen, C.; Janzen, S.; Maass, W.; Mattfeld, P.; Niemietz, P.; Piller, F.: Manufacturing Resilience - Towards Resilience Management in Production Engineering; <https://medium.com/spaicer-resilient-manufacturing/manufacturing-resilience-e5cfc437d12>
- [15] Thun-Hohenstein, L.; Lampert, K.; Altendorfer-Kling, U.: Resilienz – Geschichte, Modelle und Anwendung. *Z Psychodrama Soziom* 19, 7–20 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11620-020-00524-6>
- [16] <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212827116303845?token=72A23846266345A433856C138E-EC911D418B86B0B04E4F657F1B7D94EB-977733FB3BDAE-268DA8E7C51724E1567F1B7C5:> „Disruption Management for Resilient Processes in Cyber-Physical Production Systems“ Nadia Galaske, Reiner Anderl

- [17] <https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/pwc-maschinenbau-barometer-q4-2020.pdf>
- [18] https://www.researchgate.net/publication/315117596_Digitalisierungsprozesse_von_KMU_im_Produzierenden_Gewerbe
- [19] https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Wie_digital_sind_die_Unternehmen_in_DE_BertelsmannStiftung_Blog_ZukunftderArbeit.pdf
- [20] <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Deutsche-Unternehmen-geben-sich-eine-Drei-im-Fach-Digitales>
- [21] Bearing Point Studie: 2021; Duscheck, F.; Blameuser, R.; Gehrman, S.: Predictive Maintenance Studie 2021: Technologische Hürden sind überwindbar – Erste messbare Erfolge geben Aufwind
- [22] Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). Artificial intelligence: a modern approach. Malaysia; Pearson Education.
- [23] Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015): Machine Learning: Trends, Perspectives, and Prospects. Science
- [24] Meisel L, Spiekermann M. Daten-marktplätze – Plattformen für Daten-austausch und Datenmonetarisierung in der Data Economy; ISSN 0943-1624; 2019
- [25] https://www.mckinsey.de/~ /media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Deutschland/News/Presse/2020/2020-09-18%20Maschinenbau/VDMA_McKinsey_Broschre_Digitale%20Plattformen_DEUTSCH.pdf
- [26] <https://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/WZL/Das-WZL/Presse-und-Medien/Aktuelle-Meldungen/~lywhj/Daten-souveraen-nutzen/>
- [27] PWC: Time to Trust; Digitalisierung von Lieferketten: Blockchain Technologie - Herausforderungen, Potenzial und Praxisbeispiele für KMUs
- [28] Trauth D, Bergs T, Gülpen C, Maaß W, Mayer J, Musa H, Niemiets P, Rohnfelder A, Schaltegger M, Seutter S, Starke J, Szych E, Unterberg M. IN-TERNET OF PRODUCTI-ONTURNING DATA INTO VALUE - Monetarisierung von Fertigungsdaten; DOI: 10.24406/ipt-n-589615; 2020; p. 342-361
- [29] Taleb, Nassim Nicholas: Antifragilität: Anleitung für eine Welt, die wir nicht verstehen; Albrecht Knaus Verlag; 2013; ISBN 9783641091200
- [30] Prümmer, M.: Kennzahlbasiertes Bewertungssystem der Leistungsfähigkeit verketteter Fertigungssysteme in der mechanischen Fertigung des Werkzeugbaus, Apprimus Verlag, Aachen 2020
- [31] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/merkel-nachhaltigkeitsnetzwerk-1798194>

Autoren



Prof. Dr. Wolfgang Boos

Geschäftsführer
WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH



Dr. Daniel Trauth

Gründer und Geschäftsführer
senseering GmbH



Dr. Kristian Arntz

Abteilungsleiter Technologieorganisation und -vernetzung
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Dr. Marcel Prümmer

Gruppenleiter Technologieorganisation
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Philipp Niemitz

Head of Business Development
senseering GmbH



Marcel Wilms

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Christian Lürken

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT



Johannes Mayer

Business Development
senseering GmbH

Unsere Studien – Erfolgreich ...



**Erfolgreich
Senkerodieren im
Werkzeugbau**
2021



**Erfolgreich Layout
Gestalten**
2020



**Erfolgreich Planen
und Steuern im
Werkzeugbau**
2019



**Erfolgreich
Fokussieren und
Segmentieren**
2019



**Erfolgreich
Digitale
Fräsprozessketten
Umsetzen**
2019



**Erfolgreich
Lieferanten
Managen**
2018



**Erfolgreich
CAX-Prozessketten
Gestalten**
2018



**Erfolgreich
Fräsen**
2018



**Erfolgreich
Automatisieren**
2017



**Erfolgreich
Restrukturieren**
2017



**Erfolgreich
Performance
Messen**
2017



**Erfolgreich
Fertigungstechno-
logien Einsetzen**
2017

Unsere Studien – Erfolgreich ...



**Erfolgreich
Finanzieren**
2016



**Erfolgreich
Digital Vernetzen**
2016



**Erfolgreich
Mitarbeiter
Motivieren**
2016



**Erfolgreich
Kalkulieren**
2015



**Erfolgreich
Planen**
2015

Unsere Studien – Strategische Entwicklung ...



Datenbasierte Dienstleistungen für den Werkzeugbau – Status quo, Entwicklung und Beispiele
2021



Wettbewerbsfaktor Resilienz – Handlungsfelder für den krisensicheren Werkzeugbau
2021



Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit – Ein Differenzierungsmerkmal für den Werkzeugbau
2020



Digitale Transformation im Werkzeugbau
2019



Intelligente Werkzeuge und datenbasierte Geschäftsmodelle
2018



Corporate Tooling – Agile Tool Development
2017



Corporate Tooling – Flexible Tooling Organization
2017



Corporate Tooling – Intelligent Tool Manufacturing
2017



Smart Tooling
2016



Fast Forward Tooling
2015



F3 Fast Forward Factory
2015

Unsere Studien – Tooling in ...



Tooling in Austria
2020



Tooling in Germany
2020



Tooling in Slovenia
2019



World of Tooling
2018



Tooling in Czech Republic
2018



Tooling in Germany
2018



Tooling in China
2016



Tooling in Turkey
2016



Tooling in Germany
2016



World of Tooling
2015



Tooling in China
2015



Tooling in South Africa
2014



Herausgeber

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Campus-Boulevard 30
52074 Aachen

www.werkzeugbau-akademie.de



9 783946 612643