



Corporate Tooling

Intelligent Tool Manufacturing

2017

Wolfgang Boos
Michael Salmen
Christoph Kelzenberg
David Goertz
Jens Helbig





**WBA
WERKZEUGBAU
AKADEMIE**

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie

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



Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

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

Impressum

Corporate Tooling - Intelligent Tool Manufacturing
Copyright © 2017

Autoren:

Prof. Dr. Wolfgang Boos, Dr. Michael Salmen, Christoph Kelzenberg, David Goertz, Jens Helbig

Gestaltung: Simona Neacsu

ISBN: 978-3-946612-20-9

Druck: printclub, 1. Edition

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH
Campus-Boulevard 30
52074 Aachen

www.werkzeugbau-akademie.de

Werkzeugmaschinenlabor WZL
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
Campus-Boulevard 30
52074 Aachen

www.wzl.rwth-aachen.de

Corporate Tooling

Intelligent Tool Manufacturing

2017

Wolfgang Boos
Michael Salmen
Christoph Kelzenberg
David Goertz
Jens Helbig





Corporate Tooling – Partner auf Augenhöhe

Das Verhältnis von Werkzeugbau und Kunde erinnert irgendwie an die Geschichte von David gegen Goliath: Auf der einen Seite steht der Kunde, die sich überlegen fühlt, große Stärke aufweist und durch geringe Flexibilität und Kompromissfähigkeit glänzt. Auf der anderen Seite steht der „kleine“ Werkzeugbaubetrieb, der sich in einer fast unterwürfigen Rolle gegenüber dem Kunden wiederfindet und versucht, selbst die tollkühnsten Wünsche zu erfüllen. Dabei ist das Verhältnis von Werkzeugbau und Kunde schon per Definition nicht harmonisch: Aus Sicht des Kunden sind Werkzeugbaubetriebe zu langsam und zu teuer, die Qualität von Werkzeugen und Dienstleistungen könnten immer noch ein bisschen besser sein und der Grund für eine geringe Produktivität in der Serienproduktion wird häufig der geringen Leistungsfähigkeit der eingesetzten Werkzeuge zugeschrieben.

Nun kennt jeder den Ausgang der Geschichte von David und Goliath. Durch sein Geschick, seine Cleverness und seine Wendigkeit war David in der Lage, den vermeintlich überlegenen Goliath zu besiegen. Zwischen Werkzeugbau und Kunde geht es natürlich nicht um gewinnen oder verlieren, sondern vielmehr darum, als Sparringspartner auf Augenhöhe zu agieren und gemeinsam Lösungen zu erarbeiten. Denn sowohl Werkzeugbau als auch Kunde haben das Ziel, langfristig am international stark umkämpften Markt erfolgreich zu agieren. Zielsetzung von Werkzeugbaubetrieben in Hochländern muss es sein, sich kontinuierlich weiterzuentwickeln, um ein anerkannter und geschätzter Partner des Kunden zu werden. Der Werkzeugbau muss also als Befähiger einer hocheffektiven und effizienten Serienproduktion auftreten, der durch sein Produkt- und Prozesswissen als Problemlöser und Unterstützer des Kunden

agiert. Um von den meist deutlich größeren Kunden als Partner auf Augenhöhe anerkannt zu werden, ist die Aufgabe des Werkzeugbaus, ähnlich wie David, sich durch außergewöhnliche Fähigkeiten, Geschicklichkeit, Intelligenz und Flexibilität auszeichnen.

Um Partner auf Augenhöhe zu werden, gilt es, drei zentrale Elemente auf dem Weg zum „Corporate Tooling“ zu erfüllen. Das erste Element ist das **Agile Tool Development**, welches sich mit einem abgestimmten Leistungsspektrum frühzeitig in den Produktentwicklungsprozess des Kunden integriert. Dabei werden agile Methoden in Werkzeugentwicklungsprozessen für ein erfolgreiches Projekt- und Prozessmanagement eingesetzt. Das zweite Element ist das **Intelligent Tool Manufacturing**, welches die operative Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen in der Auftragsabwicklung beschreibt. Dazu gehören unter anderem die digital unterstützte Mitarbeiterführung, ein digitales Auftrags- & Ressourcenmanagement sowie die Mensch-Maschine-Interaktion. Das dritte Element ist die **Flexible Tooling Organization**, welche über flexible und zugleich klar definierte Organisationsstrukturen verfügt. Dabei hat die Organisation die Aufgabe, das vorhandene Wissen durch Algorithmen im gesamten Werkzeugbaubetrieb nutzbar zu machen und gleichzeitig die Vernetzung mit externen Partner zu fördern.

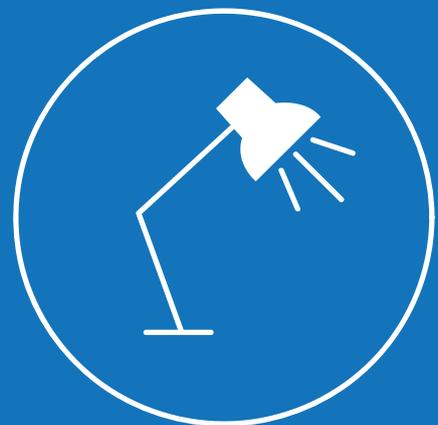
Spotlight

Das Thema Industrie 4.0 ist auf den Agenden der produzierenden Unternehmen angekommen. In der Serienproduktion wird bereits eine Vielzahl digitaler Assistenzsysteme gewinnbringend eingesetzt. In der Einzel- und Kleinserienfertigung, und speziell im Werkzeugbau, ist der Umsetzungsgrad von Industrie 4.0 in Form digitaler Assistenzsysteme jedoch eher gering. Diese Entwicklung ist insofern verwunderlich, als dass insbesondere der Werkzeugbau, als Befähiger der Serienproduktion, Produkt- und Prozessinnovationen vorantreibt.

Der deutsche Werkzeugbau ist einem immer intensiveren Wettbewerbsdruck ausgesetzt. Dieser kennzeichnet sich insbesondere durch einen zunehmenden Fachkräftemangel, einen steigenden Kostendruck sowie einen kundenseitig motivierten Innovationsdruck. Um den beschriebenen Wettbewerbsdruck adressieren zu können, ist der deutsche Werkzeugbau gefordert, eine Effizienzsteigerung im Leistungserstellungsprozess zu realisieren. Nur auf diese Weise kann der deutsche Werkzeugbau als kompetenter und zugleich wettbewerbsfähiger Partner der Serienproduktion langfristig bestehen.

Ein großes Potenzial zur Optimierung des Leistungserstellungsprozesses und zur Adressierung der beschriebenen Herausforderungen bietet Industrie 4.0. Industrie 4.0 beschreibt die digitale Vernetzung von Mensch, Maschine und Objekten zur Steigerung der Kollaborationsproduktivität. Im Werkzeugbau bedeutet dies langfristig, die traditionell handwerklich geprägte Werkzeugerstellung

hin zu einer intelligenten, durch digitale Assistenzsysteme unterstützte und vernetzte Werkzeugerstellung, einem **Intelligent Tool Manufacturing**, zu entwickeln. Aber wie sieht Intelligent Tool Manufacturing im Werkzeugbau konkret aus? Was sind Lösungen, die bereits im Werkzeugbau Anwendung finden? Und wie kann der Werkzeugbau eine intelligente und durch Industrie 4.0-gestützte Werkzeugerstellung realisieren? Die Studie „Intelligent Tool Manufacturing“ gibt einen Überblick über Anwendungen, die im Fertigungs- und Montagebereich des Werkzeugbaus implementiert werden können und bewertet diese hinsichtlich Nutzen, Aufwand und Industrie 4.0- Reifegrad.





...erwarten eine Reduktion von Fehlern bei der Bauteilfertigung



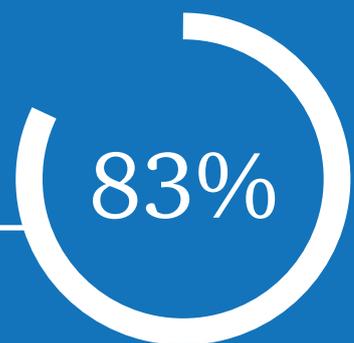
...erwarten eine Verkürzung der Durchlaufzeiten

63%

der befragten Unternehmen einer Studie des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen und der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH bewerten das Potenzial von Industrie 4.0 auf dem Shopfloor sehr hoch, ...



...erwarten eine Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit



...erwarten eine Erhöhung der Produktivität

vistar



Ausgangssituation

Höchste Geschwindigkeit unter ständig wechselnden Umwelteinflüssen – das ist die Herausforderung in der Königsklasse des Automobilsports, der Formel 1. Dieser Leitsatz wird durch Formel 1-Teams über eine Saison in 21 Rennen umgesetzt. Um den Charakteristika unterschiedlicher Rennstrecken, wie dem kurvigen Stadtkurs in Monaco oder der Höchstgeschwindigkeitsstrecke in Monza, gerecht zu werden, müssen die Formel 1-Fahrzeuge und die Rennstrategie von ihren Teams vor jedem Rennen bis ins Detail geplant, akribisch vorbereitet und abgestimmt werden. Hierzu ist beispielweise die Aerodynamik zu justieren, sodass eine passende Balance zwischen Abtrieb in kurvigen Abschnitten und Geschwindigkeit in schnellen Passagen der Rennstrecke erreicht wird. Gleichmaßen gilt es, die Betriebstemperatur der Reifen kontinuierlich zu überwachen, um den optimalen Trade-off zwischen Grip und Lebensdauer der Reifen austarieren zu können. Die optimale Reifentemperatur liegt bei ca. 90° Celsius. Weiterhin müssen die Teams für jede Rennstrecke die jeweils optimale Rennstrategie ermitteln. In Abhängigkeit der Charakteristika der Rennstrecke, der erwarteten Temperaturen und der Niederschlagsvorhersage werden hierzu Anzahl und Zeitpunkte der Boxenstopps festgelegt sowie eine Reifenauswahl vorgenommen. Nur so sind Durchschnittsgeschwindigkeiten von 250 km/h und Spitzengeschwindigkeiten von 372,6 km/h möglich.

Infolge sich verändernder Rahmenbedingungen, wie plötzlich eintretendem Regen oder Rennunfällen, werden spontane Reaktionen während des Rennens notwendig. Zur optimalen Anpassung der Fahrzeugeinstellungen und der Rennstrategie ist das Formel 1-Team auf digitale und vernetzte Systeme angewiesen. Über 400 Sensoren ermöglichen die Aufnahme von Fahrzeug-, Renn- und Wetterdaten während des Rennens, die die Datengrundlage digitaler Assistenzsysteme bilden. Nur durch die effiziente Zusammenarbeit digital vernetzter Assis-

tenzsysteme mit kompetenten Rennfahrern, Renningenieuren und Mechanikern kann der Rennerfolg sichergestellt werden.

Hohe Geschwindigkeit unter ständig wechselnden Umwelteinflüssen ist nicht nur in der Formel 1, sondern auch in der Leistungserstellung eines erfolgreichen Werkzeugbaubetriebs gefordert. Im Werkzeugbau findet der Leistungserstellungsprozess hauptsächlich auf dem Shopfloor statt. Eine hohe Komplexität in Bezug auf die Werkzeugerstellung durch geringe Wiederholhäufigkeiten, einen hohen Anteil von Eilaufträgen sowie eine mangelnde Transparenz hinsichtlich Auftrags- und Ressourcendaten charakterisieren den Shopfloor des Werkzeugbaus. Um effizient auf die wechselnden Umwelteinflüsse reagieren zu können, sind auch Werkzeugbaubetriebe auf kompetente Mitarbeiter sowie digital vernetzte Assistenzsysteme angewiesen. Intelligent Tool Manufacturing bedeutet, dass Mitarbeiter auf ein echtzeitnahes Ressourcen- und Auftragsmanagement zurückgreifen, effizient mit Maschinen und Systemen interagieren und in der täglichen Arbeit durch digitale Hilfsmittel unterstützt werden. Intelligent Tool Manufacturing bietet neue Potenziale zur Steigerung der Prozess- und Kosteneffizienz sowie der Verbesserung der Qualität und der Ergonomie. Dazu wurden bereits in der Studie „Smart Tooling“ drei konkrete Handlungsfelder definiert, die in dieser Studie wieder aufgegriffen werden:

- **Digitales Ressourcen- & Auftragsmanagement**
- **Mensch-Maschine-Interaktion**
- **Digital unterstützte Mitarbeiterführung**

Auf diesen Handlungsfeldern aufbauend werden in vorliegender Studie konkrete digitale Assistenzsysteme vorgestellt und deren Einsatz im Werkzeugbau in Bezug auf Nutzen, Aufwand und Industrie 4.0-Reifegrad bewertet.



90° C

beträgt die optimale Betriebstemperatur der Reifen eines Formel 1-Fahrzeugs



372,6 km/h

beträgt die gemessene Höchstgeschwindigkeit eines Formel 1-Fahrzeugs auf der Rennstrecke in Monza



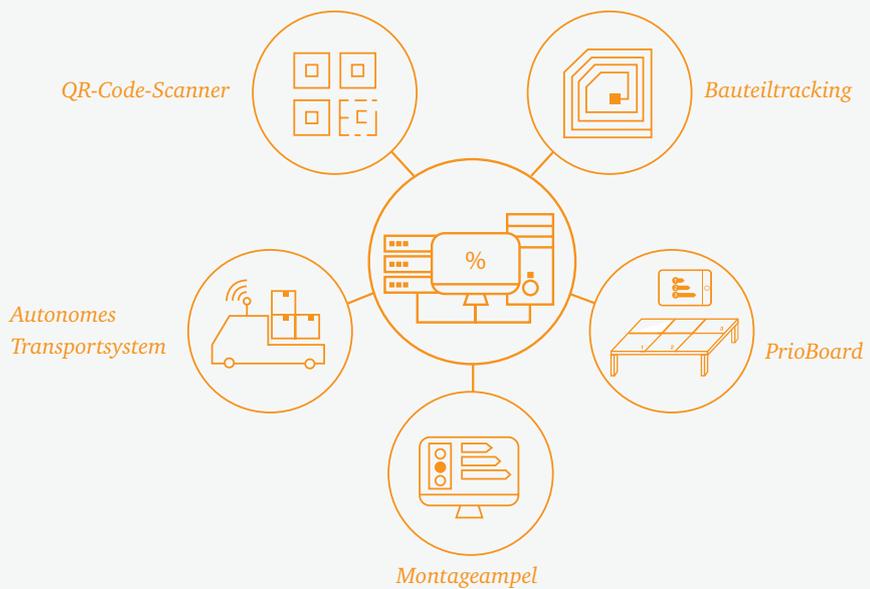
400

beträgt die durchschnittliche Anzahl an Sensoren in einem Formel 1-Fahrzeug

Digitales Ressourcen- und Auftragsmanagement

Das Digitale Ressourcen- und Auftragsmanagement stellt eine Kernaufgabe zur effizienten Leistungserstellung auf dem Shopfloor dar. Dieses bestimmt maßgeblich die Auslastung des Shopfloors, der Arbeitsstationen und der Mitarbeiter auf dem Shopfloor. Das Ressourcen- und Auftragsmanagement ist insbesondere in der Einzel- und Kleinserienfertigung deutlich komplexer verglichen mit der Serienfertigung. Die Wiederholmechanismen der Serienfertigung lassen sich in der Einzel- und Kleinserienfertigung nur sehr bedingt realisieren. Erschwerend kommt hinzu, dass eine große Anzahl unplanbarer Aufträge in der Planung berücksichtigt werden muss. Mithilfe digital un-

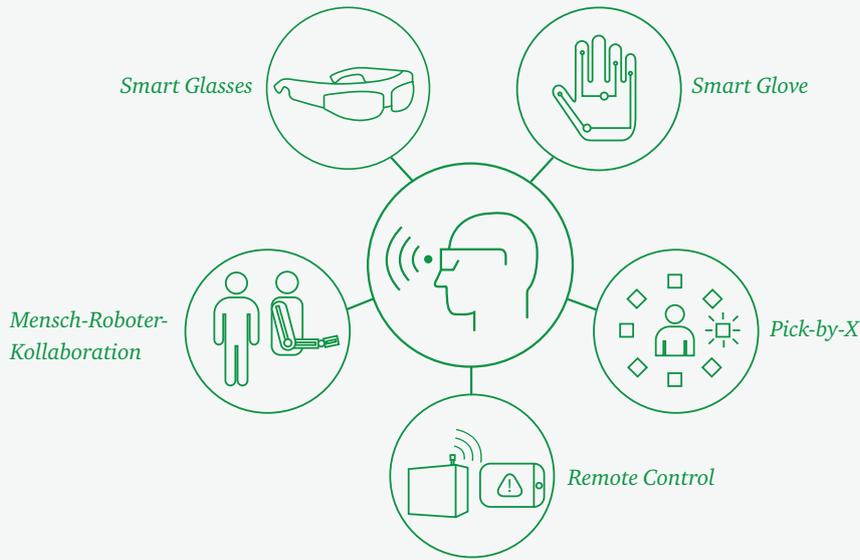
terstützter Assistenzsysteme, die direkt mit dem ERP-System verbunden sind, lässt sich ein echtzeitnahes und flexibles Ressourcen- und Auftragsmanagement realisieren. Dazu müssen Betriebsdaten, die den Bearbeitungsfortschritt beschreiben, aufgenommen, ausgewertet, Fertigungsalternativen berechnet und für den Mitarbeiter visualisiert werden. Dies legt den Grundstein zur Erreichung von Termintreue sowie zur Steigerung der Effizienz auf dem Shopfloor.



Mensch-Maschine-Interaktion

Die Mensch-Maschine-Interaktion verfolgt das Ziel der weitestmöglichen Reduzierung manueller und nicht-wertschöpfender Tätigkeiten des Mitarbeiters auf dem Shopfloor. Die Potenziale bestehen insbesondere in der Erfassung und Rückmeldung von Auftrags- und Fehlerdaten und einer effizienten Zusammenarbeit zwischen Mitarbeiter und Maschine. Durch den Einsatz digitaler Assistenzsysteme können Auftragsdaten in der Materialkommissionierung, direkt an Bear-

beitungsmaschinen, in der Fertigung oder in der Montage und dem Try-out aufgenommen sowie unmittelbar nach deren Auftreten erfasst, dokumentiert und gespeichert werden. Der Mitarbeiter nimmt dabei die Rolle der überwachenden Instanz ein, die die Maschinen und Systeme bedient und, wenn nötig, eingreift. Auf diese Weise werden nicht-wertschöpfende Tätigkeiten reduziert und damit die Effizienz gesteigert.



Digital unterstützte Mitarbeiterführung

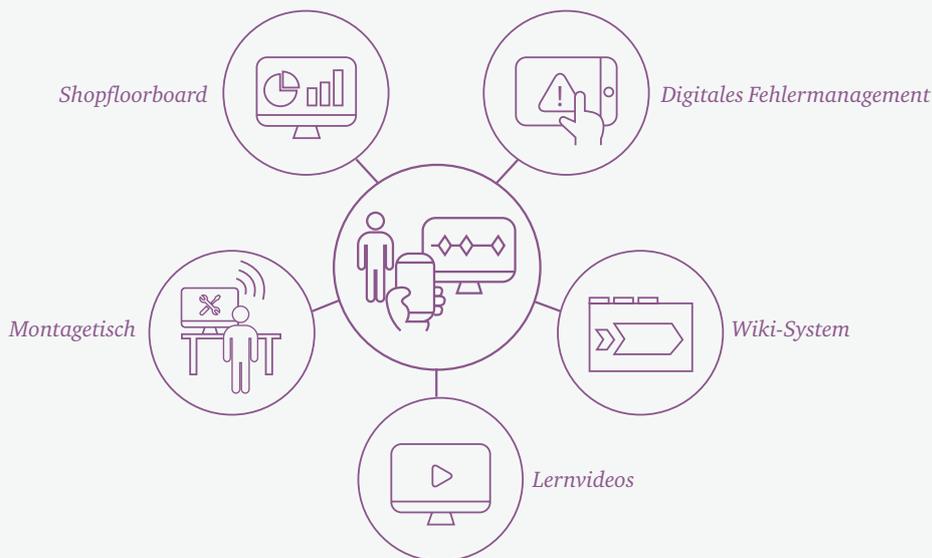
Die Digital unterstützte Mitarbeiterführung verfolgt das Ziel, die Mitarbeiter des Shopfloors kontinuierlich und transparent über ressourcen- und auftragsseitige Soll- und Ist-Zustände zu informieren, da sich 52% der Mitarbeiter auf dem Shopfloor im Werkzeugbau schlecht informiert fühlen. Mithilfe einer durchgängigen Datenaufnahme und innovativer Visualisierungskonzepte können relevante Informationen auf dem Shopfloor echtzeitnah zur Verfügung gestellt werden. Mithin können Mitarbeiter über Materialverfügbarkeiten, Auftragsfortschritte verschie-

dener Werkzeuge oder die Auslastung von Arbeitsstationen und Fertigungsressourcen benachrichtigt werden. Diese Informationen können für eine Entscheidungsfindung hinsichtlich der Auftragspriorisierung, kurzfristiger Fremdvergaben oder der Realisierung der Arbeitsaufgabe genutzt werden. Durch eine Digital unterstützte Mitarbeiterführung wird die Entscheidungsfindung des Mitarbeiters auf Basis datenseitiger Auswertungen gestützt und das Auftreten von Fehlern minimiert.



52%

beträgt der Mitarbeiteranteil, der den Informationsstand auf dem Shopfloor schlecht einschätzt



Bewertungssystematik

In den Handlungsfeldern Digitales Ressourcen- und Auftragsmanagement, Mensch-Maschine-Interaktion und Digital unterstützte Mitarbeiterführung werden konkrete Umsetzungen digitaler Assistenzsysteme vorgestellt und bewertet. Mithilfe digitaler Assistenzsysteme können Werkzeugbaubetriebe die Effizienz des Leistungserstellungsprozesses kontinuierlich erhöhen und sich somit gegenüber internationalen Wettbewerbern behaupten. Aus praktischen Erfahrungen in der Industrieberatung, einer Vielzahl durchgeführter Forschungsprojekte mit Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung und aus Eigenentwicklungen im Umkreis des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen sowie der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH kann eine fundierte Bewertung digitaler Assistenzsysteme vorgenommen werden. Die Bewertung erfolgt hinsichtlich des erreichbaren Nutzens, des erforderlichen Aufwands und des erzielten Industrie 4.0-Reifegrads. Diese Bewertung wird nachfolgend erläutert.

Nutzen

Der erreichbare **Nutzen** digitaler Assistenzsysteme bemisst sich für Werkzeugbaubetriebe am Beitrag zur Verbesserung von Prozess- und Kosteneffizienz, Qualität sowie Ergonomie. In Zeiten kürzer werdender Produktlebenszyklen und zunehmender Produktderivatisierung ist der Werkzeugbau gefordert, kurze Durchlaufzeiten und eine hohe Termintreue zu möglichst niedrigen Kosten zu realisieren. Dies erreichen Werkzeugbaubetriebe durch eine hohe **Prozess- und Kosteneffizienz**. Es gilt, die Wertschöpfung pro Mitarbeiter und die Kapitalbindung zu optimieren, ohne die Reaktionsgeschwindigkeit und Handlungsfähigkeit des Werkzeugbaubetriebs zu gefährden. Neben Kosten und Zeit ist die **Qualität** eines Werkzeugs die dritte entscheidende Zielgröße der Werkzeugherstellung. Ein erfolgreiches Qualitätsmanagement detektiert Fehler frühzeitig und stellt sicher, dass auftretende Fehler

und qualitative Mängel langfristig vermieden werden. Insbesondere mit Blick auf den demografischen Wandel sind die vorangehend genannten Ziele des Werkzeugbaus nur zu erreichen, wenn den Bedürfnissen der Mitarbeiter auf dem Shopfloor eine zentrale Rolle zugestanden wird. Demzufolge ist die Erreichung von **Ergonomie** ein entscheidender Erfolgsfaktor für Werkzeugbaubetriebe. Eine ergonomische Gestaltung der digitalen Assistenzsysteme im Werkzeugbau berücksichtigt sowohl physiologische Bedürfnisse als auch die Benutzerfreundlichkeit. Die Kriterien Prozess-, Kosteneffizienz, Qualität und Ergonomie werden im Rahmen dieser Studie mit einer Skala von 1 (geringer Nutzen) bis 10 (hoher Nutzen) bewertet. Gemittelt ergeben die Kriterien den Nutzen eines digitalen Assistenzsystems.



Aufwand

Der erforderliche **Aufwand** zur Einführung und zum Betrieb digitaler Assistenzsysteme ergibt sich anhand des Implementierungsaufwands, der Implementierungsdauer, der Implementierungskosten sowie des Betriebsaufwands. Der Werkzeugbau ist insbesondere gefordert, eine hohe Prozess- und Kosteneffizienz durch die Optimierung des Mitarbeiter- und Ressourceneinsatzes zu erreichen. Demzufolge ist ein entscheidender Faktor in der Einführung digitaler Assistenzsysteme der **Implementierungsaufwand** und die **Implementierungsdauer**. Hierbei ist zu beachten, inwiefern tiefgreifende Veränderungen der Abläufe zur Werkzeugherstellung notwendig sind, die zu vorübergehenden Produktivitätseinbußen führen können.

Gleichwohl sind die **Implementierungskosten** zur Einführung digitaler Assistenzsysteme zu beachten, welche durch die Beschaffung der notwendigen Hard- und Software und etwaiger externer Aufwände zu deren Implementierung verursacht werden. Nicht zu vernachlässigen ist ebenfalls der **Betriebsaufwand**, der zur Aufrechterhaltung des Betriebs eines eingeführten digitalen Assistenzsystems notwendig ist. Die Kriterien Implementierungsaufwand, Implementierungsdauer, Implementierungskosten und Betriebsaufwand werden im Rahmen dieser Studie mit einer Skala von 1 (geringer Aufwand) bis 10 (hoher Aufwand) bewertet. Gemittelt ergeben die Kriterien den Aufwand eines digitalen Assistenzsystems.

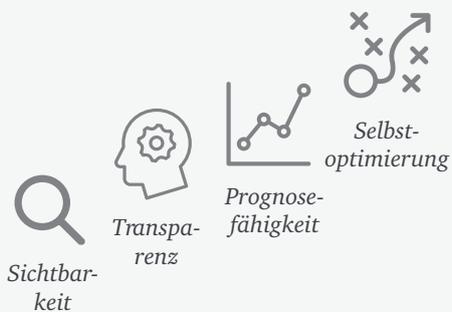
sammenhänge von Daten beschreiben und verstehen. In der nächsten Reifegradstufe können auf Basis der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge Prognosen erfolgen. Die Erreichung der letzten Reifegradstufe der Selbstoptimierung ermöglicht es digitalen Assistenzsystemen, eigenständige Anpassungen vorzunehmen. Erst die Realisierung der vierten Reifegradstufe stellt eine vollständige Umsetzung von Industrie 4.0 dar.

Entsprechend der Ausführungen werden die digitalen Assistenzsysteme hinsichtlich Nutzen, Aufwand und Industrie 4.0-Reifegrad bewertet.

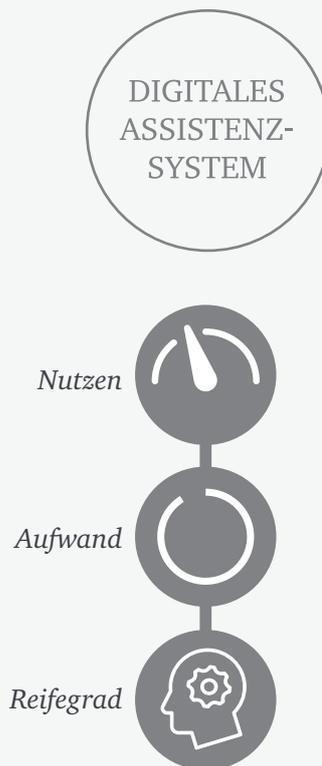


Reifegrad

Digitale Assistenzsysteme können in Bezug auf Industrie 4.0 in vier Reifegradstufen eingeteilt werden. Die Reifegradstufen wurden in der Studie „Smart Tooling“ vorgestellt. Diese lassen sich unterteilen in die Reifegradstufen Sehen (**Sichtbarkeit**), Verstehen (**Transparenz**), Vorhersagen (**Prognosefähigkeit**) und Optimieren (**Selbstoptimierung**). Die erste Reifegradstufe beschreibt die Aufnahme und Visualisierung von Daten. In darauffolgenden Reifegradstufen lassen sich Ursache-Wirkungs-Zu-



Exemplarische Bewertung





Digitales Ressourcen- & Auftragsmanagement

2 Milliarden Befehle

Formel 1-Teams bestehen aus zwei Formel 1-Fahrern, welche jeweils abhängig von der spezifischen Fahrerwertung und Rennsituation unterschiedliche Rennstrategien verfolgen. Zur Entwicklung einer Rennstrategie ist unter anderem eine Reifenwahl vorzunehmen, die Zeitpunkte und die Menge der Boxenstopps zu planen sowie die erforderliche Treibstoffmenge zu prognostizieren. Veränderungen der Wetterlage, ungeplante Rennverläufe in Form von Safety-car-Phasen oder komplexe Überholmanöver haben Einfluss auf die Rennstrategie. Um die Rennstrategie schnell und vor allem erfolgversprechend anpassen zu können, werden echtzeitnahe Daten benötigt. Die zentrale Steuereinheit ECU (Electronic Control Unit) im Formel 1-Fahrzeug ist für die Datenaufnahme und Datenweitergabe verantwortlich. Mithilfe von 15 integrierten Prozessoren liegt die Leistungsfähigkeit der ECU bei insgesamt 2 Milliarden Befehlen pro Sekunde. Die Daten der ECU in Verbindung mit Wetterdaten und persönlichen Erkenntnissen von Mechanikern, Renningenieuren und des Rennfahrers werden am zentralen Kommandostand aggregiert. Ein Team von Renningenieuren überwacht am Kommandostand alle Daten, die aus diversen Datenquellen aggregiert werden. Es werden Eingriffsgrenzen festgelegt und im Falle des Erreichens von Eingriffsgrenzen Maßnahmen entweder eigenständig durch die ECU oder durch die Renningenieure ergriffen und an den Fahrer kommuniziert. Durch eine kontinuierliche Aufnahme und Aggregation der Daten können in einem zentralen Kommandostand die Ressource Formel 1-Fahrzeug optimal überwacht und auf Basis einer guten Entscheidungsgrundlage Maßnahmen ergriffen werden. Das Datenvolumen, welches über ein

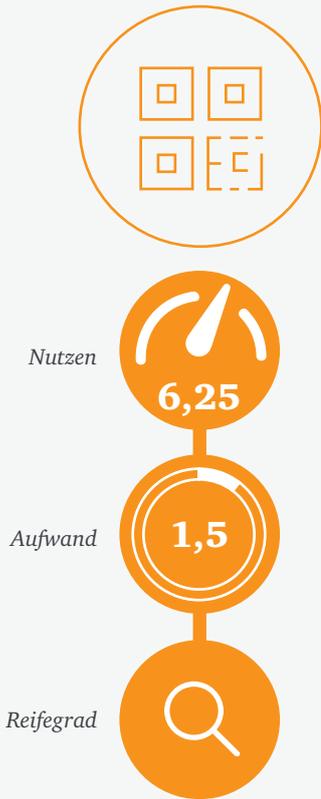
werden durchschnittlich pro Sekunde von 15 Prozessoren in einem Formel 1-Fahrzeug versandt

Rennen pro Rennstall generiert wird, beträgt in der Regel 250 Gigabyte. Nur so kann die Erreichung des jeweils bestmöglichen Ergebnisses für beide Formel 1-Fahrer sowie den Rennstall sichergestellt werden.

Auf dem Shopfloor ermöglicht der effiziente Einsatz von Ressourcen eine erfolgreiche Leistungserstellung. Begrenzte Ressourcen auf dem Shopfloor im Werkzeugbau führen in der Regel dazu, dass Aufträge akribisch geplant und priorisiert werden müssen. Werkzeugbaubetriebe stehen insbesondere vor dem Hintergrund einer hohen Anzahl zu realisierender Eilaufträge, in Form von Reparatur- oder Änderungsaufträgen, vor der Aufgabe, Aufträge unterschiedlicher Dringlichkeit auf dem Shopfloor zu koordinieren und effizient einzuplanen. Analog zu den Veränderungen der Umwelteinflüsse in der Formel 1 erfahren Werkzeugbaubetriebe eine Veränderung der Auftragslage. Dazu ist es notwendig, eine ständige Transparenz über Ressourcenverfügbarkeiten und Auftragsstatus zu besitzen, um Entscheidungen treffen zu können. Hierzu wird in der Ressourcen- und Auftragsplanung eine detaillierte Planung erstellt, welche einen optimierten Fertigungsablauf verspricht. Eine Anpassung der Planung muss unter Berücksichtigung von Auftragsdaten in Form von Terminen sowie von Ressourcendaten in Form von Mensch und Maschine erfolgen. Sowohl bei der Aufnahme der Daten, als auch bei der Kommunikation von Informationen, können digitale Assistenzsysteme einen wertvollen Beitrag leisten und zum effizienten Ressourcen- und Auftragsmanagement beitragen.



QR-Code-Scanner zur Rückmeldung an Arbeitsstationen (QR-Code-Scanner)

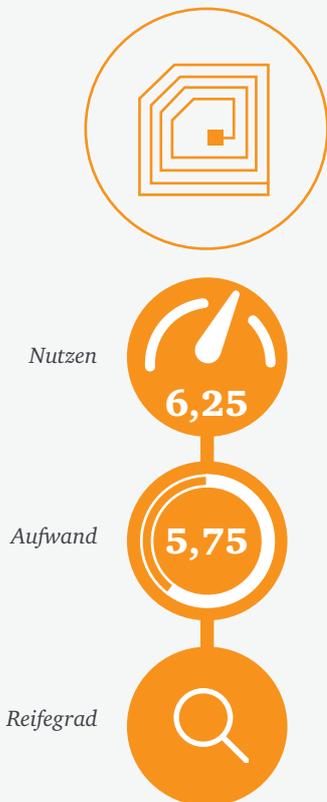


Ein QR-Code (englisch für Quick Response, schnelle Antwort) ist ein quadratischer und fehlerrobuster Code zur Markierung von Baugruppen und Komponenten. Auf ihm werden wichtige Auftragsdaten gespeichert, die von der Maschine mittels eines QR-Code-Scanners ausgelesen werden können. Dadurch können Betriebsdaten digital vernetzt erfasst und echtzeitnah an das PPS-System zurückgemeldet werden, wo sie zur Auswertung des aktuellen Auftragsfortschritts, der digitalen Ressourcenplanung sowie zur Nachkalkulation der Aufträge genutzt werden.

Der QR-Code-Scanner kann den Industrie 4.0-Reifegrad „Sichtbarkeit“ erreichen, da er Daten auf dem Shopfloor erzeugt. Die mühsame manuelle Betriebsdatenerfassung wird durch ein schnelles Abscannen ersetzt. Dies spart viel Zeit und erhöht die Datenqualität der Betriebsdatenerfassung. Der Gesamtnutzen des QR-Code-Scanners wird mit einer Punktzahl von 6,25 beurteilt, wobei in dieser Einschätzung die Kosteneffizienz den höchsten Wert erreicht. Dagegen wird der Gesamtaufwand als vergleichsweise gering angesehen und mit 1,5 Punkten bewertet.

Der Scanner besteht aus einer Kamera sowie einem Decoder und lässt sich durch die Zielhilfe in Form eines lasergenerierten Musters erweitern. Die Voraussetzung hierfür ist neben der Bereitstellung der notwendigen Hardware die Anbindung an die bestehende Infrastruktur.

Bauteiltracking mittels RFID (Bauteiltracking)



Durch die digitale Vernetzung lassen sich Bauteile mittels RFID-Chips (Radio Frequency Identification) berührungslos lokalisieren und identifizieren. An den Bauteilen werden Transponder angebracht, die alle relevanten Informationen speichern. Diese Informationen können mit Hilfe von Funklesegeräten ausgelesen werden. Mittels der modernen Sender-Empfänger-Technologie können Anlagen, Werkstücke und Benutzer selbstständig über Radiowellen miteinander kommunizieren sowie aktuelle Prozessdaten und Arbeitsschritte speichern.

Daten zum einen erhoben und zum anderen ausgewertet und analysiert werden. Hierzu muss entsprechende Software entwickelt und implementiert werden.

Voraussetzung für die Implementierung einer digital vernetzten Bauteilverfolgung ist eine Anpassung der IT-Infrastruktur der jeweiligen Produktionsstätte sowie die Installation von Empfangs- bzw. Lesegeräten. Um eine Effizienzsteigerung der Produktionsprozesse zu erzielen, müssen die anfallenden

Die echtzeitnahe Bauteilverfolgung kann den Industrie 4.0-Reifegrad „Sichtbarkeit“ erreichen. Sie ermöglicht eine Analyse der Fertigungsprozesse sowie ein frühzeitiges Erkennen und Beheben von Fehlerquellen. Zusätzlich führt sie Vollständigkeitsprüfungen aus und schafft durch die Datenaufnahme auf dem Shopfloor die Voraussetzung für eine Steigerung der Termintreue. Da eine echtzeitnahe Rückmeldung des Montagefortschritts an die Arbeitsvorbereitung erfolgt, kann eine Verbesserung der Planung erzielt werden. Der beurteilte Gesamtnutzen von 6,25 Punkten überwiegt den errechneten Gesamtaufwand von 5,75 Punkten.

Digitales Priorisierungsboard zur Auftragspriorisierung (PrioBoard)

Das digitale Priorisierungsboard ist ein Bildschirm, der dem Mitarbeiter direkt am Arbeitsplatz anzeigt, welches Bauteil aus seinem Arbeitsvorrat als nächstes bearbeitet werden soll. Durch das digitale Priorisierungsboard können Prioritäten digital unterstützt gesetzt werden. Bisher erfolgt die Priorisierung auf dem Shopfloor meist nur mit einfachen Hilfsmitteln oder basiert auf der Erfahrung eines Meisters. Durch das digitale Priorisierungsboard kann die Bearbeitungsreihenfolge schnell verändert und die Auswirkungen der Veränderungen automatisch angezeigt werden.

Voraussetzungen für die erfolgreiche Implementierung des digitalen Priorisierungsboards ist sowohl die Beschaffung der erforderlichen Hardware als auch eine softwareseitige Anbindung an das bestehende Planungssystem. Zudem muss eine Anmeldung der Bauteile an der jeweiligen Bearbeitungsstation und die Speicherung von Bearbeitungsvorgabezeiten durch den in der Arbeitsvorbereitung erstellten Arbeitsplan gewährleistet sein. Schließlich ist die Fer-

tigungssteuerung so zu erweitern, dass sie mithilfe dieser Daten die beschriebene Funktionalität ausführt und die Priorisierungsunterstützung über einen Bildschirm an jeder Bearbeitungsstation darstellt.

Das digitale Priorisierungsboard stellt Prognosen über die künftige Fertigstellung der Produkte und und kann damit den Industrie 4.0-Reifegrad „Prognosefähigkeit“ erreichen. Sein Einsatz trägt einerseits zur Reduzierung des manuellen Planungs- und Steuerungsaufwands bei, während es andererseits die Termintreue von Bauteilen erhöht. Zudem führt es zu einer Steigerung von Effizienz und Auslastung, da Eil- und Reparaturaufträge besser eingeplant und Liegezeiten von Bauteilen in der Fertigung verringert werden können. Der Gesamtnutzen des digitalen Priorisierungsboards wird mit 6,5 Punkten bewertet, wobei in dieser Einschätzung im Besonderen die Kosten- und Prozesseffizienz positiv ins Gewicht fallen. Dagegen wird der Gesamtaufwand etwas geringer mit 5,0 Punkten beurteilt.



Nutzen



Aufwand



Reifegrad

Digitale Montageampel zum Auftragsmanagement in der Montage (Montageampel)

Die Montageampel unterstützt bei der Planung des exakten und frühestmöglichen Montagezeitpunkts. Sobald eine sinnvolle Anzahl von Einzelteilen für die Montage zur Verfügung steht, zeigt die Montageampel den Montagestart durch die Anwendung einer Farblogik automatisch an. Auf einem Bildschirm werden freie Montagearbeitsplätze sowie verfügbare Mitarbeiter für die Montage zugewiesen. Bildschirme an den Zwischenlagern zeigen den Bearbeitungsstatus des jeweiligen Bauteils an.

Für die Implementierung der Montageampel ist eine Anbindung an die im Werkzeugbau eingesetzte Planungssoftware erforderlich. Zudem sind echtzeitnahe Rückmeldungen zum Bearbeitungsstatus jeder Komponente des Werkzeugs sowie notwendige Bearbeitungsschritte – beispielsweise über den Einsatz von QR-Code-Scannern – zu hinterlegen.

So kann eine prozentuale Fortschrittsanzeige der einzelnen Komponenten auf dem Bildschirm erstellt und der ideale Montagestart gewählt und angezeigt werden. Zudem muss für die Montageampel eine digitale Stückliste und eine Bearbeitungsreihenfolge durch die Arbeitsvorbereitung definiert werden.

Durch eine transparente Darstellung des Bearbeitungsfortschritts der Stückliste und der Vorhersage des optimalen Montagestarts kann die Montageampel den Industrie 4.0-Reifegrad „Prognosefähigkeit“ erreichen. Durch die Reduzierung von Wartezeiten kann die Prozesseffizienz durch ihren Einsatz gesteigert werden. Gleichzeitig kann durch den Einsatz der Montageampel die Termintreue erhöht und Durchlaufzeiten reduziert werden. Ihrem Gesamtnutzen von 6,5 Punkten steht ein errechneter Gesamtaufwand von 3,75 Punkten gegenüber.



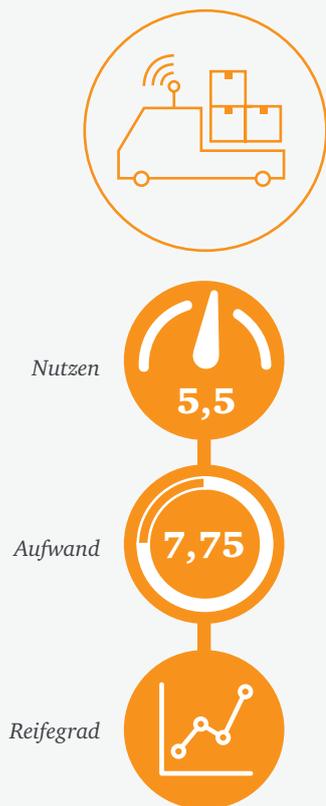
Nutzen



Aufwand



Reifegrad



Autonomes Transportsystem zur Materialbereitstellung (Autonomes Transportsystem)

Ein autonomes Transportsystem besteht aus automatisch gesteuerten Fahrzeugen und versorgt den Shopfloor eigenständig mit Einzelteilen. Die Information über den Teilebedarf kann in einem vernetzten Produktionssystem über RFID-Chips an Behältern ermittelt werden. Benötigte Teile werden schnellstmöglich und autonom bereitgestellt. Bei Bedarf erfolgt eine automatische Nachbestellung sowie ein Signal zur Abholung an das Transportsystem. Die Beladung des Fahrzeugs erfolgt an einer zentralen Sammelstelle.

Für die Einführung eines autonomen Transportsystems sind verschiedene Voraussetzungen zu erfüllen. Damit bei Bedarf automatisch Bestellungen ausgelöst und autonom bereitgestellt werden können, muss der Auftragsfortschritt sowie der Teilebedarf auf dem Shopfloor echtzeitnah überwacht werden. Zudem muss sichergestellt werden, dass das Planungssystem mit unterschiedlichen Assistenzsystemen – wie beispielsweise dem Bauteiltracking und dem autonomen Transportsystem – vernetzt wird. Demzufolge ist

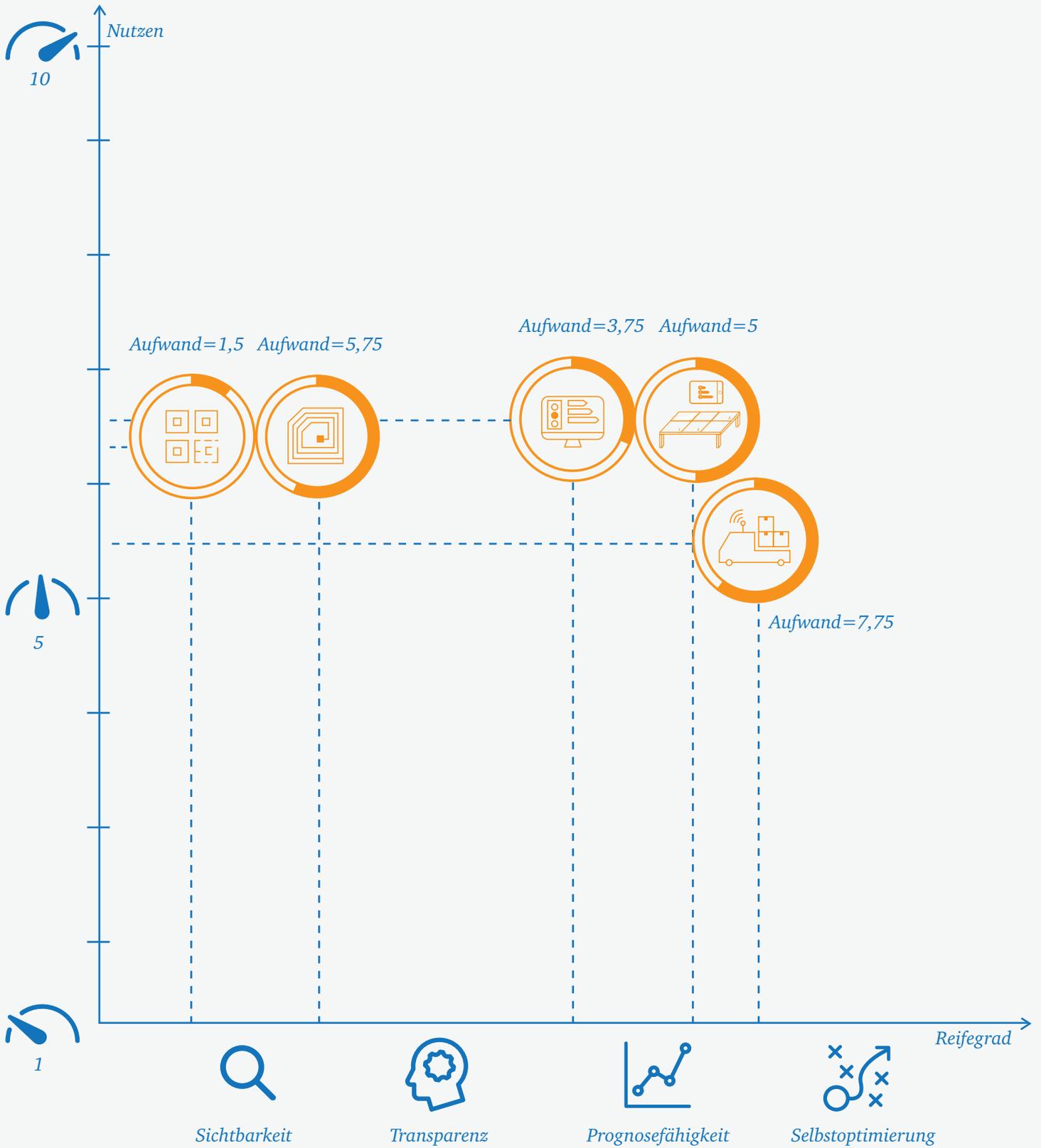
die Einführung eines autonomen Transportsystems erst nach einer Umsetzung weiterer digitaler Assistenzsysteme möglich.

Durch die Einführung des autonomen Transportsystems kann der Industrie 4.0-Reifegrad „Prognosefähigkeit“ erreicht werden. Der Teiletransport wird ergonomischer gestaltet und Wartezeiten bei Teilemangel werden durch die automatische Bestellung reduziert. Mithilfe einer integrierten Datenanalyse lassen sich Bedarfe nicht nur erkennen, sondern auch vorhersagen und vermeiden. Somit führt die Verwendung autonomer Transportsysteme zur Reduzierung des Aufwands und der Kosten in der Intra-logistik. Der Gesamtnutzen wird mit 5,5 Punkten bewertet. Nachteilig wirkt sich der hohe Implementierungsaufwand aus, sodass der Gesamtaufwand die Punktzahl 7,75 erhält.

Fazit

Die Anwendungen im Handlungsfeld Digitales Ressourcen- & Auftragsmanagement – QR-Code-Scanner, Bauteiltracking, PrioBoard, Montageampel und autonomes Transportsystem – sind ideale Instrumente zur Steigerung der Prozesseffizienz. Die Planung kann durch das digitale Priorisierungsboard sowie durch die digitale Montageampel deutlich verbessert werden. Zudem kann die Materialversorgung auf dem Shopfloor durch ein autonomes Transportsystem optimiert werden. Die Anwendungen in diesem Handlungsfeld unterscheiden sich im Wesentlichen im Industrie 4.0-Reifegrad. Der QR-Code-Scanner sowie RFID-Tags tragen in erster Linie zur Datenerhebung bei. Diese Daten können im nächsten Schritt die Voraussetzung für die Implementierung weiterer Anwendungen sein. Durch digitale Priorisierungsboards sowie die Montageampel können diese Daten zur Planung verwendet werden, die somit die Prognosefähigkeit erreichen können. Das autonome Transportsystem kann in der Materialbereitstellung ebenfalls einen Reifegrad bis zur „Prognosefähigkeit“ erreichen.

Bewertung „Digitales Ressourcen- & Auftragsmanagement“





Mensch-Maschine-Interaktion


4.290

beträgt die durchschnittliche Anzahl an Schaltvorgängen pro Fahrzeug und Rennen in Monza



Formel 1-Fahrzeuge verfügen über 850PS bei 1,6 Litern Hubraum, sechs Zylindern, einem Turbolader sowie einer Benzin-Direkteinspritzung. Zusätzlich wird auf ein ausgeklügeltes Hybrid-System zurückgegriffen, welches die Leistungswerte eines Formel 1-Fahrzeugs weiter verbessert. Neben der neuesten Motorentechnologie werden aerodynamische Elemente im und am Fahrzeug integriert, um Durchschnittsgeschwindigkeiten von bis zu 250km/h je nach Rennstrecke zu erreichen. Das Formel 1-Fahrzeug jedoch benötigt einen hervorragenden Formel 1-Fahrer, der das Formel 1-Fahrzeug mit seinen besonderen Funktionen beherrscht. Dazu ist eine intensive Mensch-Maschine-Interaktion in Form von bis zu 4.290 Schaltvorgängen je Rennen erforderlich. Eine optimale Interaktion zwischen Mensch und Mensch gepaart mit einer klar abgegrenzten Aufgabenverteilung ist von elementarer Bedeutung und der größte Erfolgsfaktor. Dabei sollte sich der Formel 1-Fahrer vollkommen auf seine Kernaufgabe, das Fahren, konzentrieren. Unterstützt wird er bestmöglich durch das Formel 1-Fahrzeug, indem Informationen unter Anderem zum Reifenabrieb, zum Benzinverbrauch oder zu Leistungswerten des Motors in aufbereiteter Form zur Verfügung gestellt werden. Entscheidend ist insbesondere die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine möglichst effizient zu gestalten. Dazu müssen die Bedürfnisse des Formel-1-Fahrers mit den Möglichkeiten des Formel 1-Fahrzeugs abgeglichen und abgestimmt werden.

Formel 1-Fahrzeug ist die Abstimmung des Mitarbeiters mit den Ressourcen erforderlich. Die Schnelligkeit auf der Rennstrecke in der Formel 1 ist im Werkzeugbau die Schnelligkeit auf dem Shopfloor. Kürzeste Durchlaufzeiten unter Einhaltung höchster Qualität werden im Werkzeugbau durch den Einsatz von Mensch und Maschine realisiert. Hierbei ist es entscheidend, dass Mensch und Maschine optimal aufeinander abgestimmt sind. Digitale Assistenzsysteme bieten die Möglichkeit, die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine maßgeblich zu verbessern. Eine Verbesserung der Zusammenarbeit bezieht sich auf die direkte ergonomische Interaktion zwischen Mensch und Maschine sowie in der Übernahme nicht wertschöpfender Tätigkeiten durch digitale Assistenzsysteme. Die Mitarbeiter sollen weitergehend bei nicht wertschöpfenden Tätigkeiten durch eine automatisierte Aufnahme von Daten entlastet werden. Große Potenziale bietet insbesondere die Erfassung und Rückmeldung von Auftrags- und Fehlerdaten in der Materialkommissionierung, in der Fertigung oder in der Montage und dem Try-out.

Eine effiziente Mensch-Maschine-Interaktion ist gleichermaßen im Werkzeugbau von entscheidender Bedeutung. Analog zur Abstimmung des Formel 1-Fahrers mit dem



Augmented-Reality-Brille zur Unterstützung von Mitarbeitern (Smart Glasses)

Der Einsatz von Smart Glasses ermöglicht die Umsetzung von Augmented Reality. Unter Augmented Reality versteht man die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung durch die Verwendung von digitalen Hilfsmitteln. Über eine Online-Anbindung der Smart Glasses kann über die Datenbrille kommuniziert und Informationen in das Blickfeld des Mitarbeiters projiziert werden. Smart Glasses können sowohl für die Nutzung von Anleitungen und Hilfestellungen als auch für die Durchführung von beispielsweise Fernwartungen eingesetzt werden. Auf dem Shopfloor lässt sich Augmented Reality durch weitere Lösungen, wie beispielsweise den Smart Glove, erweitern, der bei korrekter Durchführung den Arbeitsschritt über die Brille quittiert (siehe spätere Anwendung).

Glasses für Montageanleitungen müssen beispielsweise, ähnlich wie bei dem Einsatz des Smart Gloves, digitalisierte Montageanleitungen erstellt werden.

Smart Glasses können die zweite Industrie 4.0-Reifegradstufe „Transparenz“ erreichen. Bei der Verwendung von Augmented-Reality-Brillen in der Montage werden durch eine Step-by-Step-Anleitung Fehler vermieden. Eine zusätzliche Fehleranalyse sowie eine Verkürzung der Durchlaufzeiten bedingt sowohl eine Steigerung der Prozess- als auch der Kosteneffizienz. Außerdem ermöglichen Smart Glasses praxisnahe Mitarbeiterschulungen. Es ergibt sich ein vergleichsweise hoher Gesamtnutzen von 7,25 Punkten, dem ein Gesamtaufwand von 4,0 Punkten gegenübersteht.

Nutzen



7,25

Aufwand



4

Reifegrad



Die Voraussetzungen für den Einsatz von Smart Glasses hängen maßgeblich von dem Zweck ab, für den die Datenbrillen eingesetzt werden sollen. Für eine Nutzung der Smart



Smart Glove zur Rückmeldung von Arbeitsvorgängen (Smart Glove)

Ein Smart Glove ist ein intelligenter Handschuh, der mit Hilfe von Sensoren und einer integrierten Software Fingerbewegungen erkennt und aufnimmt. Er eignet sich vor allem für die Anwendung in der Montage. Durch die Vernetzung mit anderen sogenannten „Smart Wearables“ können ganze Arbeitsschritte erkannt und bewertet werden. Durch Feedback in Form von optischen, akustischen oder haptischen Signalen erfährt der Mitarbeiter, ob der ausgeführte Arbeitsschritt korrekt oder fehlerhaft durchgeführt wurde. Zudem wird so eine ständige Kontrolle des Prozessfortschritts ermöglicht.

Der Smart Glove kann den zweiten Industrie 4.0-Reifegrad „Transparenz“ erreichen. Durch seine Anwendung findet während des gesamten Montageprozesses eine unmittelbare Qualitätsprüfung statt, sodass Fehlerquellen frühzeitig erkannt und behoben werden können. Dies wird zusätzlich durch die integrierte Fehlerkontrolle unterstützt. Der Gesamtnutzen erreicht 3,75 Punkte. Der Aufwand wird mit 4,0 Punkten bewertet.

Nutzen



3,75

Aufwand



4

Reifegrad



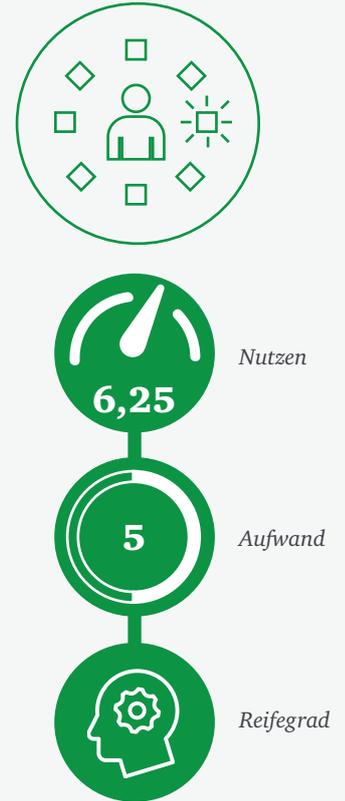
Neben der erforderlichen Hardware ist der Einsatz von Smart Gloves auf digitalisierte Montageanleitungen für jedes Werkzeug angewiesen. Hierfür sind händisch erstellte Arbeitsfolgen erforderlich. Zudem müssen verwendete Bauteile so gekennzeichnet werden, dass eine Vernetzung mit dem Smart Glove realisiert werden kann.

Pick-by-X zur Materialkommissionierung (Pick-by-X)

In der Montage und Logistik werden zunehmend Pick-by-X-Systeme verwendet, bei denen dem Mitarbeiter signalisiert wird, welche Bauteile zu verbauen, bereits verbaut oder nicht vorgesehen sind. Dies geschieht entweder durch Spracherzeugung (Pick-by-Voice), optische Signale (Pick-by-Light) oder Smart Glasses (Pick-by-Vision). Die Kommissionierung und Montage von Bauteilen kann somit automatisiert erfolgen und der Prozessfortschritt wird durch eine integrierte Sensorik laufend dokumentiert.

Die Anwendung von Pick-by-X-Systemen erfordert eine hohe Anzahl gleicher oder ähnlicher Arbeitsabläufe, da ansonsten der Programmieraufwand im Verhältnis zum Nutzen nicht lohnenswert ist. Bei einer konsequenten Werkzeugstandardisierung sowie -modularisierung ist dies in der Regel gegeben. Die Hardware ist jedoch in den meisten Werkzeugbaubetrieben nicht vorhanden und muss extern zugekauft werden.

Pick-by-X-Systeme können den Industrie 4.0-Reifegradstufe „Transparenz“ erreichen. Prozessabfolgen können durch den zusätzlichen Einsatz von RFID-Tags an den Auftragslisten visualisiert und zurückgemeldet werden. Durch die sensorgestützte Überwachung des Teilevorrats und die automatisierte Kommissionierung werden Fertigungs- und Logistikprozesse vereinfacht sowie Such- und Durchlaufzeiten verkürzt. Zusätzlich erfolgt eine Reduktion der Fehlerrate. Dadurch kann die Prozesseffizienz insbesondere in der Werkzeugmontage signifikant erhöht werden. Insgesamt wird der Gesamtnutzen mit 6,25 Punkten bewertet. Demgegenüber steht ein Gesamtaufwand von 5,0 Punkten, wobei vor allem der Kostenaufwand verhältnismäßig hoch eingestuft wird.

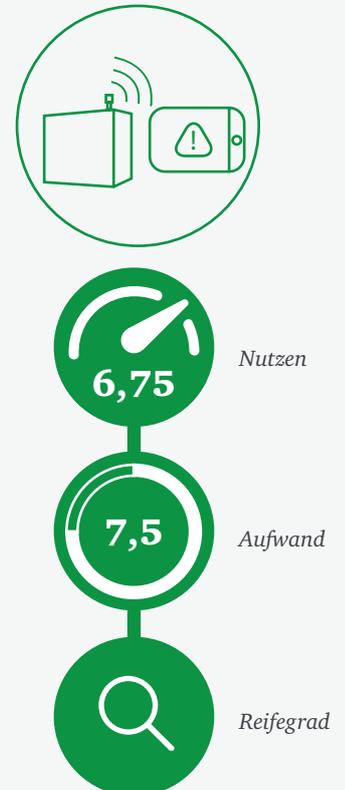


Remote Control zur Überwachung von Fertigungsmaschinen (Remote Control)

Remote Control bezeichnet die Funkfernsteuerung von Maschinen und Anlagen. Mit Hilfe von digitalen Endgeräten lassen sich Arbeitsprozesse aus der Distanz überwachen und steuern. Dabei werden Prozessdaten durch Sensoren aufgenommen und mit einem Leitsystem verbunden. Es besteht die Möglichkeit zur Prozessüberwachung mit Hilfe von an der Maschine angebrachten Kameras. Zudem kann mithilfe von Aktuatoren in den Prozess eingegriffen werden.

Moderne Maschinen verfügen meist über die notwendigen Schnittstellen zur Anwendung von Remote Control. Bei älteren Maschinen ist dies nicht der Fall und eine Implementierung gestaltet sich oft schwierig. Die Entscheidung, welche Funktionen durch eine Fernsteuerung möglich sind, müssen vor dem Hintergrund der Prozesssicherheit und der Unfallsicherheit getroffen werden.

Remote Control Systeme können den Industrie 4.0-Reifegrad „Sichtbarkeit“ erreichen, da sie eine durchgehende Datenaufnahme sowie eine konsequente Maschinenvernetzung beinhalten. Im Werkzeugbau finden sich zunehmend Anwendungen zur Verbesserung der Maschinenperformance, indem die Daten für eine Prozessoptimierung, die Instandhaltung oder einen schnellen Support bei der Fehlerbehebung genutzt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Flexibilisierung des Arbeitsplatzes, sodass der Mitarbeiter ortsunabhängig über den Status quo der Bearbeitung informiert ist. Der Gesamtnutzen wird mit 6,75 Punkten bewertet, wobei der Nutzen für die Prozesseffizienz besonders hoch beurteilt wird. Der Gesamtaufwand beträgt 7,5 Punkte, wobei hier vor allem der hohe Implementierungs- sowie der Kostenaufwand hervorzuheben sind.





Mensch-Roboter-Kollaboration zur Mitarbeiterunterstützung in der Fertigung und Montage (Mensch-Roboter-Kollaboration)

Unter der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) versteht man die Unterstützung der Mitarbeiter durch sensitive Roboter bei körperlich anstrengenden oder einfachen Aufgaben. Im Werkzeugbau umfasst dies die gemeinsame Bearbeitung von Aufgaben wie Entgraten, Beschriften, Einschleif- und Tuschierarbeiten oder Messaufgaben. Die Kollaboration ist gekennzeichnet durch eine unmittelbare Zusammenarbeit von Mitarbeiter und Maschine ohne Trennwände oder andere Barrieren. Kollisionen und andere Unfälle werden durch Kameras und Lasersensoren sowie durch die sensitiven Eigenschaften der Roboter verhindert.

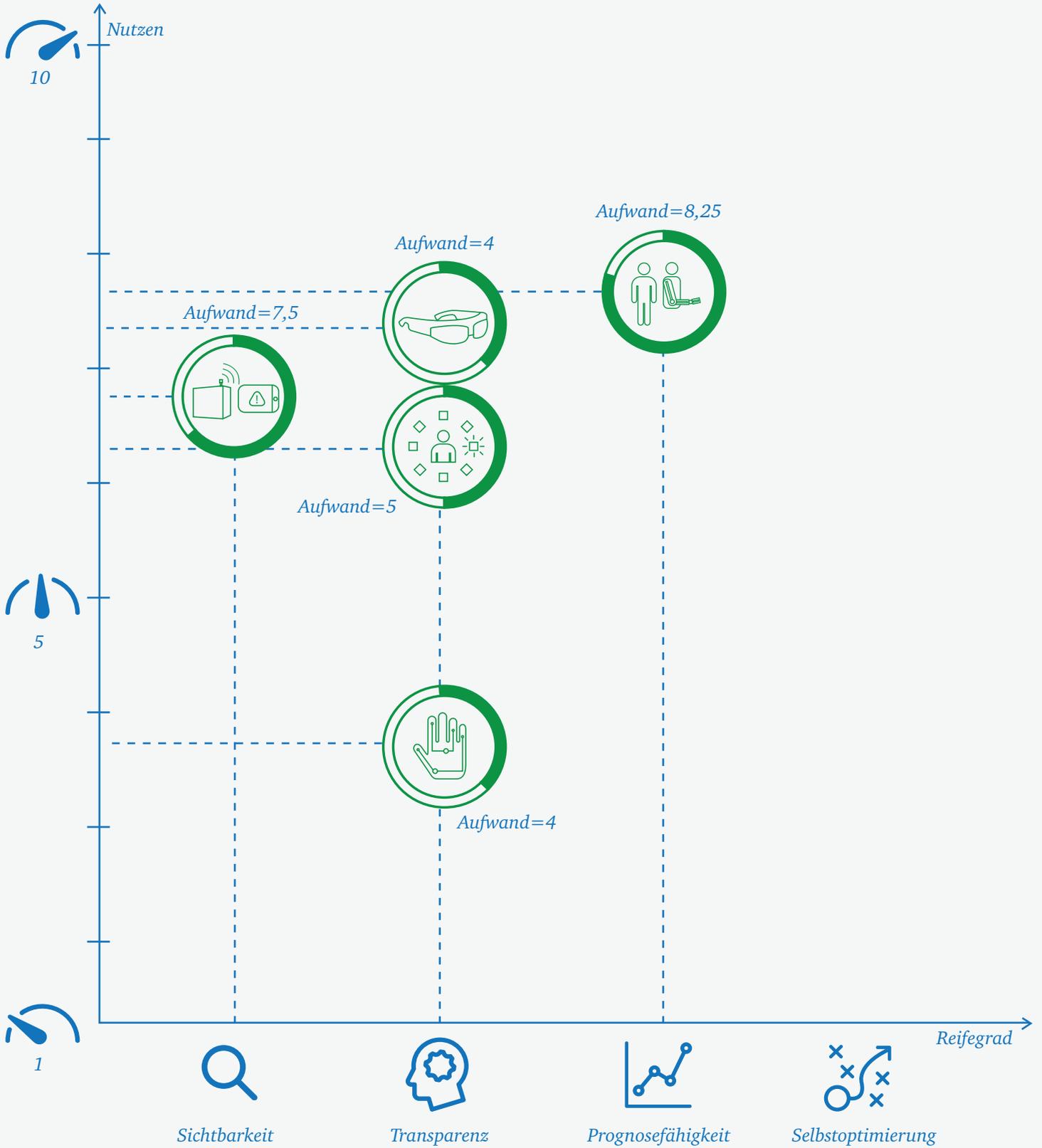
Voraussetzungen für die Einführung von MRK ist die Beschaffung der notwendigen Hard- und Software. Hürden bei der Einführung stellen insbesondere die hohen Beschaffungskosten der Hardware sowie der hohe Implementierungsaufwand dar.

Durch Mensch-Roboter-Kollaborationen kann der Industrie 4.0-Reifegrad „Prognosefähigkeit“ erreicht werden. Diese steht im Gegensatz zu bisherigen Kollaborationen, bei denen Mensch und Maschine räumlich oder zeitlich getrennt voneinander arbeiten. Durch eine integrierte Kollisionserkennung hat der Roboter die Fähigkeit, mögliche Zusammenstöße zu prognostizieren und flexibel auf die parallel ausgeführten Tätigkeiten des Mitarbeiters zu reagieren. Eine intelligente Steuerung kann das zusätzliche Lernen des Roboters im Prozess ermöglichen und damit die Prognosefähigkeit verbessern. Insgesamt ergibt sich ein Gesamtnutzen von 7,75 Punkten. Nachteilig sind ein hoher Implementierungs- und Kostenaufwand, sodass sich ein errechneter Gesamtaufwand von 8,25 Punkten ergibt.

Fazit

Der Einsatz der digitalen Assistenzsysteme Smart Glasses, Smart Glove, Pick-by-X, Remote Control und Mensch-Roboter-Kollaboration bieten im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion enorme Potenziale zur Unterstützung der Mitarbeiter. Dem Nutzen steht ein hoher Implementierungsaufwand gegenüber, der insbesondere mit hohen Kosten verbunden ist. Nach erfolgreicher Implementierung lassen sich durch die beschriebenen Anwendungen hingegen hohe Industrie 4.0-Reifegrade erreichen. Alle vorgestellten Anwendungen tragen erheblich zur Steigerung der Prozesseffizienz bei, indem Mitarbeiter durch den Einsatz der Assistenzsysteme maßgeblich im Prozess unterstützt werden können. Zudem können durch Smart Glasses und Remote Control Tätigkeiten und Bearbeitungsprozesse über große Distanzen überwacht und gesteuert werden, wodurch die Kosteneffizienz erreicht werden kann. Die Mensch-Roboter-Kollaboration verbindet die Vorteile zweier Welten und führt zu einer erheblichen Entlastung der Mitarbeiter und somit zum maximalen Nutzen im Bereich Ergonomie.

Bewertung „Mensch-Maschine-Interaktion“





99%

28 Tax
27 Ttan
26 Tmin
2.3 Press
24 TressIN

RADIO

6
5
4
3
2
1
W
R
BRAKE

LAPS

6
5
4
3
2
1
POWER

DASH

PIT

Digital unterstützte Mitarbeiterführung



23 Tage

Jeder Formel 1-Fahrer hat das Ziel, das Rennen zu gewinnen. Um sich gegenüber seinen 21 Konkurrenten durchsetzen zu können, benötigt der Formel 1-Fahrer zu jedem Zeitpunkt einen Überblick über das aktuelle Renngeschehen und den aktuellen Status seines Formel 1-Fahrzeugs. Angefangen beim Reifenabrieb über Sektorzeiten bis hin zu Beschleunigungswerten stehen dem Formel 1-Fahrer eine Vielzahl verschiedener Informationen zur Verfügung, die kontinuierlich aufgenommen, analysiert und gespeichert werden. Aber welche Informationen sind zu welcher Zeit notwendig? Zur situationsgerechten Informationsversorgung verfügt der Formel 1-Fahrer über ein kompetentes Team, bestehend aus Mechanikern und Renningenieuren sowie über eine zentrale ECU Einheit im Formel 1-Fahrzeug, welche Daten sammelt und dem Formel 1-Fahrer oder dem Team zur Verfügung stellt. Gleichmaßen kann der Formel 1-Fahrer aktiv Informationen anfordern, die er in gewissen Rennsituationen benötigt. Der Fahrer kann über das Multifunktionslenkrad mit über 100 verschiedenen Funktionen, die von klassischen Funktionen der Schaltung über das Rückgewinnungssystem kinetischer Energie (KERS) oder das System zur Verringerung des Luftwiderstandes (DRS) reichen, echtzeitnah reagieren. Zum optimalen Einsatz des Multifunktionslenkrads verbringt der Formel 1-Fahrer im Durchschnitt 23 Tage jährlich im Rennsimulator. Funktionen und der richtige Einsatz des Multifunktionslenkrades stellen in der Formel 1 einen entscheidenden Erfolgsfaktor dar.

verbringt ein Formel 1-Fahrer durchschnittlich pro Jahr im Rennsimulator



In Analogie zum Formel 1-Fahrer ist auch der Mitarbeiter auf dem Shopfloor eines Werkzeugbaubetriebs gefordert, den aktuellen Status des Leistungserstellungsprozesses in Form der ressourcen- und auftragsseitigen Bearbeitungsstände jederzeit im Blick zu haben. Nur so ist der Mitarbeiter in der Lage, effizient Entscheidungen treffen zu können. Insbesondere unvorhergesehene Ereignisse, beispielsweise in Form kurzfristiger Kundenänderungen, eiliger Reparaturaufträge oder unvorhergesehener Maschinenausfälle und Mitarbeiterengpässe, können ressourcen- und auftragsseitige Auswirkungen zur Folge haben. Hierzu müssen die Mitarbeiter stetig und echtzeitnah mit aktuellen Informationen unterstützt werden. Digitale Assistenzsysteme befähigen die Mitarbeiter des Werkzeugbaus dazu, immer und überall die gerade benötigten Informationen abrufen zu können. Neben der effizienten Auftragsabwicklung steht auch die Qualifizierung der Mitarbeiter durch anforderungsgerechte Weiterbildung am Arbeitsplatz im Vordergrund der Digital unterstützten Mitarbeiterführung. Neue Konzepte, integriert in den alltäglichen Workflow des Mitarbeiters, in Form digitaler Assistenzsysteme tragen zur Mitarbeiterqualifizierung bei.



Digitales Shopfloorboard zur Informationsvisualisierung (Shopfloorboard)

Das digitale Shopfloorboard ist ein Instrument zur echtzeitnahen Visualisierung von Informationen auf dem Shopfloor des Werkzeugbaus. Auf einem zentralen Bildschirm werden die Mitarbeiter beispielsweise über relevante Kennzahlen, Auftragsfortschritte sowie über Soll- und Ist-Zustände informiert. Dies beinhaltet in der Regel Informationen zur Ablauforganisation, zur Produktivität, zur Qualität, zum Projektstatus oder zur kontinuierlichen Verbesserung.

Ein Großteil der benötigten Informationen zur Ausgestaltung des Shopfloorboards werden bereits im ERP-System erfasst. Es ist die Aufgabe des Werkzeugbaus, die Inhalte des Shopfloorboards gemeinsam mit den Mitarbeitern auszugestalten und individuell an die eigenen Anforderungen anzupassen. Eine interaktive Gestaltung des Shopfloorboards ermöglicht es, den maximalen Mehrwert zu erzielen.

Das Shopfloorboard hilft bei der Generierung und Visualisierung von Daten. Daher kann durch die Implementierung des digitalen Shopfloorboards der Industrie 4.0-Reifegrad „Sichtbarkeit“ erreicht werden. Im Gegensatz zu traditionellen Informationstafeln werden die Inhalte durch eine Anbindung an das Planungssystem automatisch aktualisiert und bilden jederzeit aktuelle Informationen auf dem Shopfloor ab. Durch die echtzeitnahe Sichtbarkeit von Zustandsänderungen wird eine erhöhte Transparenz auf dem Shopfloor geschaffen. Dies ermöglicht eine schnellere Reaktion auf Veränderungen. Zudem werden die Mitarbeiter durch die Bereitstellung der Informationen bei ihrer Entscheidungsfindung unterstützt, sodass die Eigenverantwortung erhöht werden kann. Aus den genannten Gründen wird der durchschnittliche Nutzen des Shopfloorboards mit 5,25 Punkten bewertet. Die Umsetzung des Shopfloorboards ist verhältnismäßig aufwandsarm und wird dadurch mit 3,0 Punkten bewertet.



Digitales Fehlermanagement zur kontinuierlichen Verbesserung (Digitales Fehlermanagement)

Das digitale Fehlermanagement ist ein Softwaresystem zur effizienten Realisierung des Fehler- und Wissensmanagements auf dem Shopfloor. Identifizierte Fehler in Fertigung, Montage oder Try-out werden standardisiert und mittels eines implementierten Workflows direkt am Werkzeug aufgenommen, zur Bearbeitung weitergeleitet und schließlich ausgewertet. Die von der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie entwickelte IDA-App (Information Digitalization Application) ist eine mögliche Umsetzung des digitalen Fehlermanagements und kann über ein sogenanntes „Backend“ auf individuelle Bedürfnisse unterschiedlicher Nutzergruppen angepasst werden. Zudem ermöglicht eine direkte ERP-Anbindung den Zugriff auf aktuelle Auftragsdaten.

Die Verwendung des digitalen Fehlermanagements benötigt eine Anbindung an die bestehende IT-Landschaft sowie die Integration in vor- und nachgelagerte Prozesse, sodass aufgenommene Fehler, die beispielsweise in der Konstruktion oder der Bauteilfertigung ent-

standen sind, in die entsprechenden Bereiche echtzeitnah zurückgeführt werden können. Auf diese Weise entsteht eine zentrale Datenbank mit einem schnittstellenübergreifenden Zugriff. Die dazu erforderliche Hardware ist bei den Unternehmen häufig bereits vorhanden. Das individualisierte Backend wird vom Softwareanbieter implementiert.

Das digitale Fehlermanagement ermöglicht dem Unternehmen den Industrie 4.0-Reifegrad „Transparenz“ zu erreichen, da sie hilft, Problemursachen besser zu verstehen. Die Applikation ist Teil eines digitalen und kontinuierlichen Verbesserungsprozesses. Die aufwändige manuelle Dokumentation, Auswertung sowie Weiterleitung von Fehlern entfällt. Eine schnelle und effiziente Fehlererkennung und -behebung wird durch die systematisierte Fehlerrückmeldung und -dokumentation erreicht, sodass Qualitätsstandards verbessert werden können. Dadurch wird ein durchschnittlicher Nutzen von 6,75 Punkten erreicht. Der Gesamtaufwand beträgt 4,25 Punkte.

Unternehmenswiki für ein effizientes Wissensmanagement (Wiki-System)

Das Unternehmenswiki stellt eine Möglichkeit des fortlaufenden und effizienten Wissensmanagements dar. Mithilfe des Unternehmenswikis kann individuelles Wissen des einzelnen Mitarbeiters für das gesamte Unternehmen zugänglich gemacht werden. Wissen und Informationen sind zu einer der wichtigsten Ressourcen im Unternehmen geworden, die es systematisch aufzunehmen, zu speichern und den Mitarbeitern zur Verfügung zu stellen gilt. So entsteht ein umfangreicher Wissensspeicher, der die Grundlage des unternehmensweiten Wissensmanagements bildet. Eine Einspeisung aktueller Branchennachrichten oder die Integration von Fortbildungen über Schnittstellen ist ebenfalls möglich. Dadurch wird Mitarbeitern die Organisation ihres persönlichen Lernprozesses erleichtert.

Grundvoraussetzung zur Einführung eines Unternehmenswikis ist die Schaffung eines überall verfügbaren und intuitiven Zugangs zu vorhandenem Wissen. Der Zugang kann

in Form einer Website gestaltet werden. Außerdem müssen die Mitarbeiter motiviert werden, an der Erstellung der Inhalte teilzunehmen. Nur so kann sichergestellt werden, dass individuelles Wissen in unternehmensweit verfügbares Wissen umgewandelt wird.

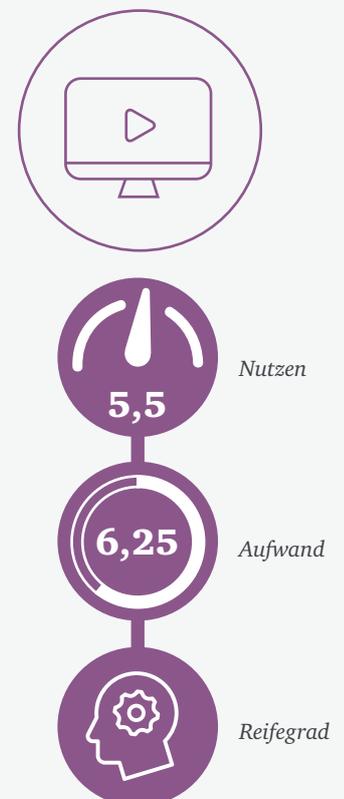
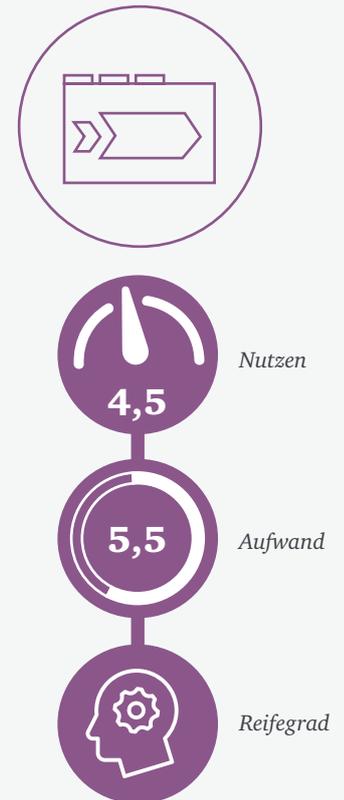
Das Unternehmenswiki ist eine Anwendung, die das Erreichen des Industrie 4.0-Reifegrads „Transparenz“ ermöglicht. Das Erzeugen von unternehmensweitem Wissen hilft Mitarbeitern, Vorgänge besser zu verstehen. Zudem kann die universelle Verfügbarkeit von Wissen und die Integration intuitiver Suchfunktionen erheblich zur Verbesserung der Prozesseffizienz beitragen. Indem die dort erlangten Informationen angewendet werden, ergibt sich außerdem die Möglichkeit zur Qualitätssteigerung. Daraus resultiert ein durchschnittlicher Gesamtnutzen von 4,5 Punkten. Der Aufwand wird mit 5,5 Punkten bewertet.

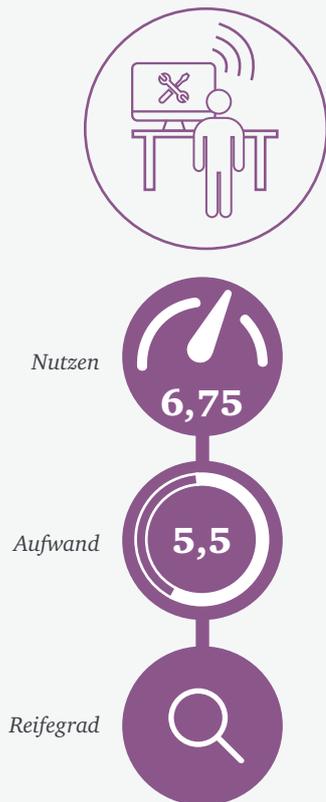
Lernvideos zur Mitarbeiterqualifikation (Lernvideos)

Lernvideos stellen über das Unternehmenswiki hinaus eine zusätzliche Möglichkeit eines effizienten Wissensmanagements dar. In Lernvideos können Mitarbeiter ihre individuellen Erfahrungen dokumentieren und zur Verfügung stellen. Inhalte der Videos können beispielsweise Beschreibungen, Anleitungen oder Handlungsempfehlungen sein. Es besteht die Möglichkeit, potenzielle Fortbildungen anzubinden, die Mitarbeiter bei Lernprozessen unterstützen. Durch die dauerhafte Verfügbarkeit der Videos können Mitarbeiter den Lernprozess flexibel gestalten. Idealerweise werden Lern-Videos in ein unternehmensweites Wiki integriert.

Die Voraussetzungen sind vergleichbar mit denen zur Einführung eines Unternehmenswikis. Erfahrene Mitarbeiter müssen motiviert werden, Videos zur Mitarbeiterqualifikation zu erstellen. Für die Erstellung der Videos müssen den Mitarbeitern notwendige Hardware wie beispielsweise Tablet-Computer zur Aufnahme von Kurzanleitungen zur Verfügung gestellt werden.

Ähnlich dem Unternehmenswiki unterstützen Lernvideos Mitarbeiter bei der Analyse von Vorgängen und helfen bei der Erreichung des Reifegrads „Transparenz“. Die Dokumentation des Wissens ermöglicht eine schnelle Einarbeitung neuer Mitarbeiter und die Weiterentwicklung der gesamten Belegschaft. Beispielsweise können bei Werkzeugreparaturen mögliche Fehlerursachen schneller identifiziert und behoben werden. Der personenbezogene Wissensverlust bei Ausscheiden oder Nichtverfügbarkeit eines Mitarbeiters kann reduziert werden. Der Nutzen wird mit 5,5 Punkten bewertet. Demgegenüber steht ein hoher Aufwand bei der Erstellung und Verbreitung der Videos, der mit 6,25 Punkten bewertet wird.





Digitaler Montagetisch zur Montageunterstützung (Montagetisch)

Der digitale Montagetisch bildet die erforderlichen Bearbeitungsschritte zur Werkzeugmontage in einer 3D-Animation ab und erzeugt nach der Fertigstellung eines Arbeitsschritts eine automatische Rückmeldung im System. Darüber hinaus können per Touch-Bedienung bauteilspezifische Zusatzdaten aufgerufen und Arbeitsschritte hinsichtlich Ergonomie und Durchführbarkeit bewertet werden. Der digitale Montagetisch ist Teil einer digital unterstützten Montage und wird zur Visualisierung von Arbeits- und Prozessfortschritten, zur Mitarbeiterschulung sowie zur Anleitung komplexer Arbeitsschritte genutzt.

Voraussetzungen für den digitalen Montagetisch sind aus dem CAD-Modell abgeleitete digitale Stücklisten sowie eine definierte Montagefolge der Einzelteile. Diese Arbeitsfolgen können softwaregestützt zu einer 3D-Animation zusammengeführt und an Vie-

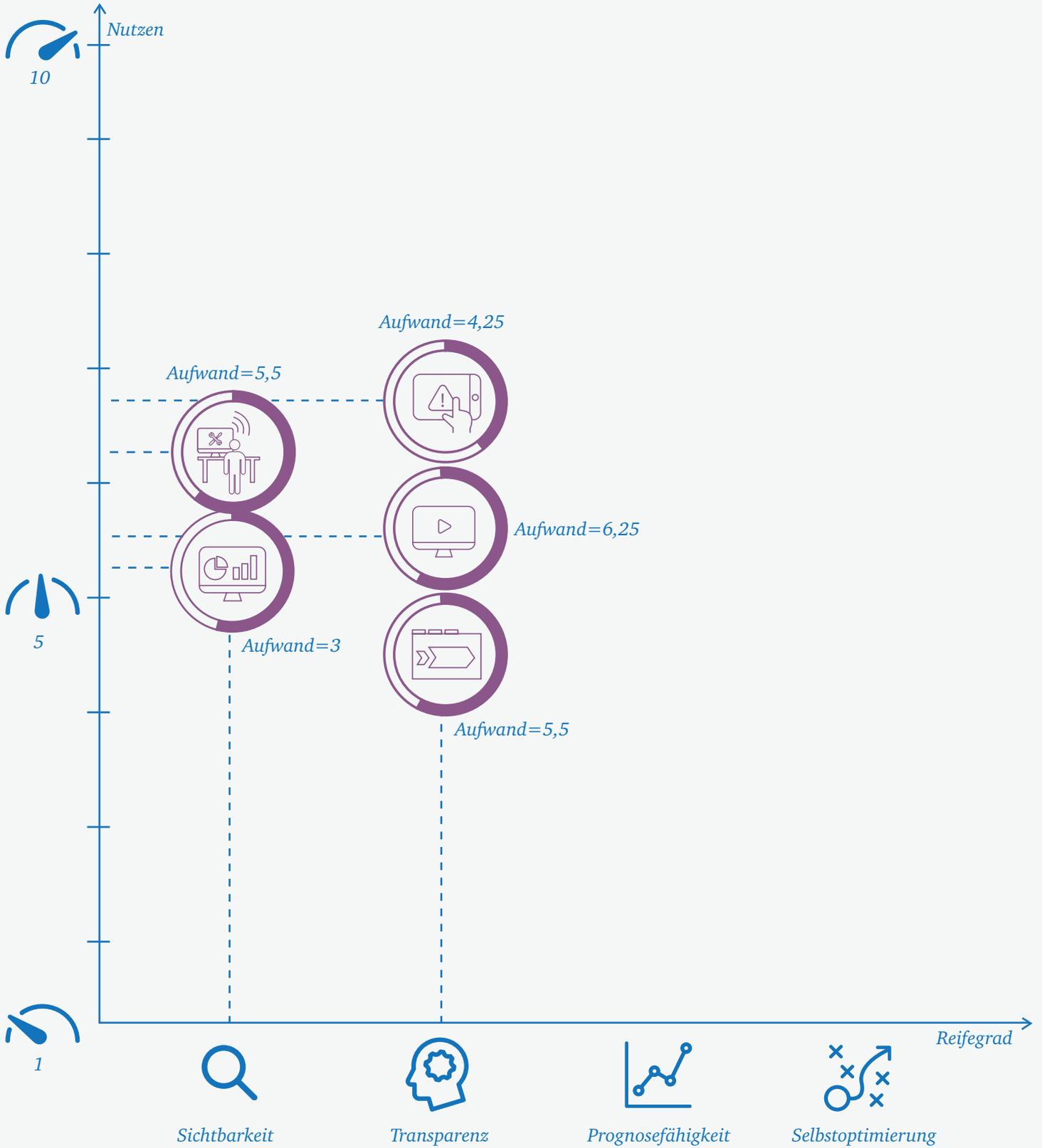
wer-Arbeitsplätzen dargestellt werden. Für die Implementierung der Viewer-Arbeitsplätze muss die notwendige Hardware beschafft sowie eine systemische Anbindung der Arbeitsplätze gewährleistet sein.

Der digitale Montagetisch ist eine Weiterentwicklung und Verbesserung der klassischen Montagehilfen wie technischen Zeichnungen, Bearbeitungsfolgen und Stücklisten, sodass dieser maßgeblich zur Umsetzung einer papierlosen Fertigung beiträgt. Der digitale Montagetisch dient der Fehlerprävention und kann durch Bereitstellen und Visualisieren der relevanten Informationen den Montageprozess beschleunigen. Zudem wird die Transparenz erhöht und die Qualität der Montage verbessert. Durch die vollständige Digitalisierung von Montagedaten kann der Industrie 4.0-Reifegrad „Sichtbarkeit“ erreicht werden.

Fazit

Die fünf Anwendungen der digital unterstützten Mitarbeiterführung – Shopfloorboard, digitales Fehlermanagement, Wiki-System, Lernvideos und digitaler Montagetisch – bieten allesamt große Potenziale zur Verbesserung der Prozesseffizienz. Durch die Verwendung von echtzeitnahen Daten können Durchlaufzeiten reduziert und die Termintreue verbessert werden. Mit dem digitalen Shopfloorboard und dem digitalen Montagetisch gibt es zwei Anwendungen, die die Mitarbeiter vor allem durch eine verbesserte Visualisierung unterstützen. Sie erzeugen „Sichtbarkeit“ auf dem Shopfloor und lassen sich mit einem geringen Gesamtaufwand einführen. Die visualisierten Informationen können im Unternehmen beispielsweise als Entscheidungsgrundlage und Montageanleitung verwendet werden. Das digitale Fehlermanagement, das Wiki-System und Lernvideos haben die Fähigkeit, „Transparenz“ zu schaffen. Ursachenfindung von Zuständen und das Verständnis von Prozessen stehen hier im Vordergrund. Dies wird durch das Wissensmanagement, die Qualifikation der Mitarbeiter und ein standardisiertes Fehlermanagement erreicht.

Bewertung „Digital unterstützte Mitarbeiterführung“



Anwendungen		Nutzen				
		Prozesseffizienz	Kosteneffizienz	Qualität	Ergonomie	Gesamtnutzen
Digitales Ressourcen- und Auftragsmanagement 	QR-Code-Scanner 	6	9	5	5	 6,25
	Bauteiltracking 	8	8	4	5	 6,25
	PrioBoard 	9	8	5	4	 6,5
	Montageampel 	9	8	5	4	 6,5
	Autonomes Transportsystem 	8	6	2	6	 5,5
Mensch-Maschine-Interaktion 	Smart Glasses 	8	9	8	4	 7,25
	Smart Glove 	4	4	4	3	 3,75
	Pick-by-X 	9	7	6	3	 6,25
	Remote Control 	8	7	7	5	 6,75
	Mensch-Roboter-Kollaboration 	8	6	7	10	 7,75
Digital unterstützte Mitarbeiterführung 	Shopfloorboard 	7	5	7	2	 5,25
	Digitales Fehlermanagement 	8	7	9	3	 6,75
	Wiki-System 	6	3	6	3	 4,5
	Lernvideos 	7	5	7	3	 5,5
	Montagetisch 	9	5	8	5	 6,75

Aufwand					Industrie 4.0- Reifegrad
Implementierungs- aufwand	Implementierungs- dauer	Implementierungs- kosten	Betriebsaufwand	Gesamtaufwand	
2	1	2	1	1,5	 Sichtbarkeit
7	5	7	4	5,75	 Sichtbarkeit
6	5	6	3	5	 Prognosefähigkeit
4	4	3	4	3,75	 Prognosefähigkeit
8	7	9	7	7,75	 Prognosefähigkeit
5	3	6	2	4	 Transparenz
5	3	6	2	4	 Transparenz
5	3	8	4	5	 Transparenz
9	7	9	5	7,5	 Sichtbarkeit
10	8	10	5	8,25	 Prognosefähigkeit
4	3	3	2	3	 Sichtbarkeit
6	6	4	1	4,25	 Transparenz
7	6	4	5	5,5	 Transparenz
8	6	5	6	6,25	 Transparenz
6	5	5	6	5,5	 Sichtbarkeit



CHANDON
CHANDON
CHANDON

PETRONAS

BOSS

Red Bull

RAUK

RAUK

UBS

PETRONAS
QUICK
HUB
EPSON
IWC

PETRONAS

Fazit und Ausblick

Zur Sicherung der nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit muss der deutsche Werkzeugbau zukünftig den Leistungserstellungsprozess optimieren, um den steigenden Kostendruck, den zunehmenden Innovationsdruck sowie dem Mitarbeiterwandel adressieren zu können. Ein entscheidender Befähiger ist Industrie 4.0. Industrie 4.0 bedeutet die vertikale und horizontale Vernetzung von Mensch, Maschinen, Objekten mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien. Eine vollständige Erreichung von Industrie 4.0 erfolgt über vier Reifegradstufen, beginnend mit der „Sichtbarkeit“, über „Transparenz“ und „Prognosefähigkeit“ hin zur „Selbstopтимierung“.

Der Werkzeugbau hat das Potenzial von Industrie 4.0 zur Steigerung der Kollaborationsproduktivität und Optimierung des Leistungserstellungsprozesses erkannt. Dies ist in einer zunehmenden Einführung und Nutzung digitaler Assistenzsysteme auf dem Shopfloor im Werkzeugbau erkennbar. Digitale Assistenzsysteme zielen auf die Vernetzung der Leistungserstellung sowie auf eine echtzeitnahe Aufnahme, Speicherung und Nutzung von Daten ab, wodurch die Effizienz in Werkzeugbaubetrieben maßgeblich verbessert wird. Der Einsatz digitaler Assistenzsysteme erfolgt in den drei Handlungsfeldern „Digitales Ressourcen- & Auftragsmanagement“, „Mensch-Maschine-Interaktion“ und „Digital unterstützte Mitarbeiterführung“. In diesen Handlungsfeldern wurden digitale Assistenzsysteme für den Werkzeugbau vorgestellt. Jede Anwendung wurde hinsichtlich des Nutzen, des Aufwands und des Industrie 4.0-Reifegrads bewertet.

Die Bewertung der vorgestellten digitalen Assistenzsysteme zeigt auf der einen Seite, welchen Nutzen Industrie 4.0 bereits heute im Werkzeugbau generieren kann und illustriert auf der anderen Seite den Aufwand, der mit der Implementierung der jeweiligen digitalen Assistenzsysteme verbunden ist. In der dritten Bewertungsdimension wird der Industrie 4.0-Reifegrad evaluiert. Verschie-

dene digitale Assistenzsysteme weisen je nach Funktionalität unterschiedliche Industrie 4.0-Reifegrade auf. Viele der in der vorliegenden Studie vorgestellten Assistenzsysteme zeigen, dass der Einsatz von Industrie 4.0 insbesondere zur Prozesseffizienz beitragen kann. Darüber hinaus können Kostenvorteile erreicht, die Qualität gesteigert und Mitarbeiter unterstützt werden. Der Aufwand der jeweiligen Umsetzungsmöglichkeiten von Industrie 4.0 variiert dabei stark. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass keines der zur Verfügung stehenden Assistenzsysteme den maximalen Reifegrad von Industrie 4.0 – die Selbstopтимierung – erreicht. Zwar unterstützen zahlreiche Assistenzsysteme die Mitarbeiter im Werkzeugbau, beispielsweise in der Entscheidungsfindung oder in der Steigerung des Informationsflusses zur Vermeidung von Fehlern, jedoch werden die größten Potenziale von Industrie 4.0 durch eine vorhandene Selbstopтимierung der Systeme noch nicht erreicht. Um den Industrie 4.0-Reifegrad Selbstopтимierung erreichen zu können, müssen die bisher noch alleinstehenden digitalen Assistenzsysteme miteinander verknüpft und zu einem ganzheitlich vernetzten System weiterentwickelt werden. Dementsprechend muss sich der Werkzeugbau, äquivalent zu den Rennteams der Formel 1, in den nächsten Jahren kontinuierlich weiterentwickeln. Um auf ständig wechselnde Umwelteinflüsse auf dem Shopfloor reagieren zu können und international wettbewerbsfähig zu bleiben, muss der Werkzeugbau Industrie 4.0 auf dem Shopfloor adressieren. Die vorliegende Studie „Corporate Tooling - Intelligent Tool Manufacturing“ zeigt, dass Industrie 4.0 und der Einsatz digitaler Assistenzsysteme einen Ansatz darstellt, Teilaufgaben und -prozesse zu optimieren. Zukünftig gilt es insbesondere, die vorgestellten Insellösungen zu einem ganzheitlichen und selbstopтимierenden System zu erweitern sowie aktuell auftretende Schnittstellenverluste zu vermeiden.

Autoren



Prof. Dr. Wolfgang Boos

Geschäftsführer
WBA Aachener Werkzeugbau Akademie



Dr. Michael Salmen

Leiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Christoph Kelzenberg

Gruppenleiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



David Goertz

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen



Jens Helbig

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Unsere Studien – Strategische Entwicklung



**Corporate Tooling –
Agile Tool
Development**
2017



**Corporate Tooling –
Flexible Tooling
Organization**
2017



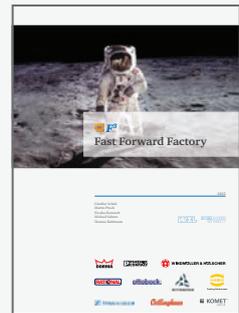
**Corporate Tooling –
Intelligent
Tool Manufacturing**
2017



Smart Tooling
2016



Fast Forward Tooling
2015



**F3 Fast Forward
Factory**
2015

Unsere Studien – Tooling in ...



World of Tooling
2015



Tooling in China
2016



Tooling in Germany
2016



Tooling in Turkey
2016



Tooling in China
2015



Tooling in South Africa
2014



Herausgeber

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Campus-Boulevard 30
52074 Aachen
www.werkzeugbau-akademie.de

Werkzeugmaschinenlabor WZL

der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
Campus-Boulevard 30
52074 Aachen
www.wzl.rwth-aachen.de

978-3-946612-20-9



9 783946 612209