



BDG Kompass – Gießerei 4.0

Entwicklungsschritte zur digitalen Produktion

2., überarbeitete Auflage



	3	Editorial
	4	Einführung
	6	Datenerfassung in der Produktion
	8	Datenverarbeitung in der Produktion
	10	Maschine zu Maschine Kommunikation (M2M)
	12	Prozessautomatisierung durch Robotereinsatz
	14	Flexible Produktion, flexible Produktionsmittel
	16	CAx-Technologien
	18	Produktentwicklung
	20	Prozessentwicklung
	22	Informations- und Kommunikationsstruktur
	24	Mitarbeiter, Führung und Organisation
	26	Ausblick

Tabellenwerke, Vorgehensweise, Übersichtsgrafik,
Glossar im Anhang



Impressum:

Herausgeber: Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG)

Bildnachweise: HS Aalen: Seite 25

Andreas Bednareck: Seiten 3, 5, 11, 19, 20,

Daimler AG: Seiten 16,

MASCHINENFABRIK GUSTAV EIRICH GMBH & Co KG: Seite 7

Fotolia: Titel, Seiten: 4, 5, 6, 7, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 23, 24,

26, alle Icons

Prof. Dierk Hartmann: Seite 9

Kuka: Seiten 2, 10, 12,

Darius Soschinski (BDG): Seite 15,

Autoren und Mitwirkende: Christoph Althausse, Römheld & Moelle Eisengießerei GmbH, Dr.-Ing. Thomas Beganovic, Volkswagen AG, Dr.-Ing. Christoph Bleicher, Fraunhofer Inst. für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Hans-Walter Bopper, WESO-Aurorahütte GmbH, Dr.-Ing. Horst Bramann, MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Frank Brehm, Daimler AG Mercedes-Benz Werk

Mannheim, Nick Brückelmann, RGU GmbH, Matthias Erdmann, HegerFerrit GmbH, Laurits Gerdes, (BDG), Steffen Günther, KUKA Industries GmbH & Co. KG, Florian Guretzky, Eisengießerei Baumgarte GmbH, Prof. Dr.-Ing. Dierk Hartmann, Hochschule Kempten, Dr.-Ing. Kai Kerber, Oskar Frech GmbH + Co. KG, Thomas Krüger, Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG), Dr.-Ing. Bernd Kujat, AUDI AG, Arno Lauterbach, HDO Druckguß- und Oberflächentechnik GmbH, Alfred Liedtke, Michenfelder Elektrotechnik GmbH & Co. KG, Dirk Lindemann, GF Casting Solutions AG, Dr.-Ing. Thomas Niehoff, Linde AG Linde Gas Headquarters, Thomas Rahn, Fraunhofer Institut f.Fertigungstechnik u. Angewandte Materialforschung IFAM, Prof. Dr. Wolfgang Schlüter, Hochschule Ansbach, Dr.-Ing. Moritz Spichartz, ABP Induction Systems GmbH, Dr.-Ing. Jörg-Christian Sturm, MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Cesare Troglio, (BDG)

Gestaltung: Dietmar Brandenburg (BDG)

Redaktion: Berit Franz (BDG)

Der BDG Kompass – Gießerei 4.0 – Innovation durch Digitalisierung



Die Gießerei-Industrie und ihre Zulieferer setzen sich bereits seit langem intensiv mit den Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung auseinander. Deren Umsetzung und die damit einhergehende weitere Automatisierung der Fertigung haben das Potenzial, einen entscheidenden Beitrag zur effizienteren und kostenoptimierten Produktion zu leisten. Dass zunächst digitale Inseln in der betrieblichen Praxis geschaffen worden sind, ist verständlich, dabei darf es aber nicht bleiben, der Weg zur Digitalisierung muss konsequent weiter beschritten werden. Gerade für mittelständische Unternehmen stellt sich aber die Frage, mit welcher Zielvorgabe und mit welchen Ressourcen dieser Weg zu gehen ist. Der BDG stellt sich auch dieser aktuellen Fragestellung und unterstützt mit seiner Arbeit die Mitgliedsunternehmen dabei, für diese Aufgaben den für sie jeweils richtigen Ansatz zu finden.

Im BDG-Arbeitskreis Gießerei 4.0 werden diese für die Zukunft unserer Branche essenziellen Themen bearbeitet. Aus diesem Kreis heraus ist der BDG-Kompass Gießerei 4.0 initiiert und realisiert worden. Die vorliegende überarbeitete 2. Auflage basiert auf insgesamt 10 Themenblöcken, die einen direkten Bezug oder eine hohe Relevanz für die Gießerei-Industrie haben. Im Sinne einer Reifegradlogik werden unterschiedliche Entwicklungsstufen vom traditionellen Produktionsbetrieb bis zur digitalen Fabrik beschrieben, die im Anhang in der Übersicht Gießerei 4.0 dargestellt ist. Der Kompass ermöglicht eine individuelle Standortbestimmung und liefert Anhaltspunkte zur Weiterentwicklung von Prozessen. Stärken und Schwächen einer Organisation bzw. der Umsetzungsstand können objektiv analysiert, Verbesserungsmaßnahmen bestimmt und in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht werden. Das gibt Ordnung und Struktur – Orientierung eben, wie es einem Kompass zukommt.

Die Gießerei-Branche ist auf einem guten Weg, getreu dem Motto „panta rhei“ – „alles fließt“, den permanenten Wandel aktiv weiter zu gestalten. Der vorliegende Kompass soll ein praktisches Hilfsmittel dazu sein.

Ihr

RA Max Schumacher

Hauptgeschäftsführer des Bundesverbandes der Deutschen Gießerei-Industrie

E-Mail: max.schumacher@bdguss.de



Einführung

Digitale Transformation in der Gießerei-Industrie

Industrie 4.0 – ist eher ein evolutionärer Prozess als eine Revolution

Der Digitalisierungsgrad der deutschen Industrie hat sich 2018 erneut gesteigert. Sowohl bei der Nutzung stationärer und mobiler Geräte als auch beim Einsatz digitaler Infrastrukturen legten die Industrieunternehmen zu. Auch in Bezug auf interne Prozesse sind die Verbesserungen unübersehbar: Gaben 2016 nur 46 Prozent der Industrieunternehmen an, über hoch digitalisierte interne Prozesse zu verfügen, sind es 2018 bereits 58 Prozent. Die Industrie hat also in Sachen Digitalisierung eine Trendwende vollzogen. Sagten 2016 noch fast die Hälfte aller Industrieunternehmen (48 Prozent), dass sie Digitalisierungsprojekte für unnötig halten, sind es aktuell nur noch 29 Prozent.¹⁾ Gerade unsere wichtigen Kundenbranchen wie der Fahrzeug- und Maschinenbau sind hier die Vorreiter bei der Umsetzung von Industrie 4.0-Themen.

Für die Gießerei-Industrie bietet die Digitalisierung ein großes Potenzial zur Verbesserung und Stabilisierung der Produktionsprozesse und zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz. Die Fortsetzung der digitalen Transformation wird für die meisten Gießereiunternehmen auch zukünftig ein Prozess sein, der schrittweise erfolgt. Eine systematische Bewertung und Auswahl passender Technologien sowie die konsequente Aufwand-/Nutzen-Abschätzung sind dabei wichtig. Bei der Vielfalt der technologischen Möglichkeiten kann bei aller Begeisterung sonst schnell der Überblick verlorengehen.

Im Mittelpunkt dieses Veränderungsprozesses stehen Mitarbeiter und Führungskräfte, die diese Veränderungen als Chance verstehen und bereit sind, sich auch auf neue Technologien und auf neue Informations- und Lernmethoden einzulas-



sen. Die Zukunft der modernen Produktion liegt in einer hochflexiblen, vernetzten und auf die Kundenwünsche abgestimmten Fertigung. Gerade in der Digitalisierung und Vernetzung des Produktionsprozesses steckt ein enormes Potenzial, um die Fertigung schneller und flexibler zu machen. Dies führt am Ende zu geringerem Ressourceneinsatz, einer erhöhten Produktivität und dem ziel-sicheren Befriedigen von Kundenbedürfnissen.

Die Einführung von Digitalisierungsbausteinen in die Produktion kann dabei im ersten Schritt durch die Aufrüstung bestehender Systeme und Nutzung vorhandener Ressourcen und Daten erfolgen. Aufgrund des sehr breiten Anwendungsspektrums und der ständigen Weiterentwicklung ist es schwierig, das Potenzial der Digitalisierung abzuschätzen. Im Bereich intelligenter Produktionssteuerung wird es beispielsweise sich selbst organisierende Maschinen und Anlagen geben, die eine kundenindividuelle Massenproduktion und Losgröße-1-Fertigung ermöglichen. Im Bereich der Anlagenleistung erhöht die Erfassung, Analyse und Nutzung von Daten die Verfügbarkeit. Die Einführung von Wissensmanagement und Assistenz-Systemen ermöglicht den einfachen Zugang zu Informationen im gesamten Unternehmen.

Im BDG-Arbeitskreis Gießerei 4.0 wurden und werden diese Themen für die Gießerei-Industrie bearbeitet. Aus der Motivation 4.0-Themen zu bewerten und zu priorisieren ist dabei die Idee zum BDG-Kompass Gießerei 4.0 entstanden. Als Ansatzpunkt diente u.a. der VDMA-Leitfaden Industrie 4.0²⁾. Dieser BDG-Kompass soll den Gießereien eine Orientierungshilfe bieten und die Erstellung einer eigenen unternehmensspezifischen Roadmap erleichtern. Die Digitalisierung hat viele Dimensionen, der BDG-Arbeitskreis 4.0

hat sich auf zehn Themen konzentriert. Jeder Themenblock wird tabellarisch anhand charakteristischer Kriterien dargestellt und in fünf verschiedenen Reifegradstufen beschrieben. Die Tabellen werden durch einen Begleittext in der Broschüre zusätzlich erläutert.

Die vorliegenden Reifegradmodelle können als Diskussionsgrundlage für die Standortbestimmung eines Unternehmens hilfreich sein. Gegebenenfalls lässt sich auf diesem Wege eine unternehmensspezifische „Roadmap 4.0“ erarbeiten.

Maßgebend ist hierbei sicher die Frage, inwieweit die verfügbaren Technologien und Methoden die operativen und strategischen Zielsetzungen eines Unternehmens unterstützen können. Die Relevanz der einzelnen Kriterien und der anzustrebende Reifegrad hängen dabei maßgebend von den Zielsetzungen und vom Geschäftsmodell eines Unternehmens ab. Für eine Gießerei, die sich als Entwicklungspartner auf die Volumenproduktion spezialisiert hat, ergeben sich andere Anforderungen als für eine Kundengießerei mit breitem Teilespektrum und einem sogenannten „build to print“-Prozess.

Wie lässt sich der Kompass sinnvoll nutzen

Hinweise und Empfehlungen zur Anwendung und zur Nutzung des Kompasses sind in einem gesonderten Kapitel auf einem separaten Beilageblatt beschrieben.

Für eine effektive Nutzung der Unterlage ist die Lektüre dieser „Gebrauchsanleitung“ empfehlenswert.

²⁾ Leitfaden Industrie 4.0, industrie 40.vdma.org



Datenerfassung
in der Produktion

Tabelle 1
im Anhang

Datenerfassung in der Produktion

Abbildung von Prozessen und Produkten durch IT-basierte Datenerfassung

Mit der Umsetzung von Industrie 4.0 ist immer eine digitale Transformation bestehender Anlagen und Prozesse verbunden. Diese erfordert die konsequente Digitalisierung aller analogen Kommunikationswege und Prozesse mithilfe geeigneter Methoden. Die Datenerfassung in der Produktion ist die Basis für die IT-gestützte Weiterverarbeitung von Informationen bis hin zu Industrie 4.0-Anwendungen. Die Daten sind dabei prozess-, anlagen-, qualitäts-, mitarbeiter- und auftragsbezogen und stehen häufig in komplexer Beziehung zueinander.

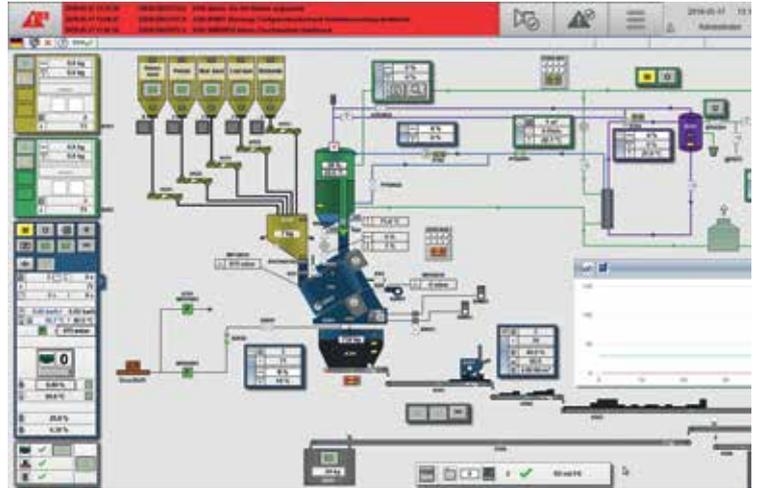
Es gilt:

- > Daten sind digitalisierte Information
- > Mengen- und Entstehungsaspekte von Daten: punktuelle/diskrete Daten, permanente/kontinuierliche Daten
- > Daten können strukturiert, teilstrukturiert oder unstrukturiert vorkommen
- > Daten stehen immer in Beziehung zueinander

Während in der Vergangenheit typischerweise buchhalterisch relevante Informationen erfasst wurden ohne den Fokus auf deren Zusammenhänge mit weiteren Informationen zu legen, ist heute ein Wandel absehbar. Zunehmend sollen Daten Zusammenhänge im Hinblick auf Qualität, Anlagenverfügbarkeit und Instandhaltung sichtbar machen und dadurch einen Zusatznutzen liefern. Auch sollen sie unternehmerische Entscheidungen und eine wirtschaftliche Betrachtung unterstützen. Die Art der Datennutzung hängt dabei von der unternehmerischen Zielstellung ab und wird in den tabellarischen Reifegradmodellen deutlich.

Aufwand und Nutzen in Einklang bringen

In typischen bestehenden Gießereien gilt es, den Aufwand zwischen der Befähigung zur Datenakquise und dem zu erwartenden Nutzen abzuwägen. Erfasste Daten sollten immer einen Bezug zu einem konkreten Nutzen haben. Das heißt, Daten



zu erfassen, ohne diese kurz- oder mittelfristig zu verwerten, ist Verschwendung. Wichtig ist dabei, eine ganzheitliche Strategie zu verfolgen, die schrittweise und aufeinander aufbauend umsetzbar ist. Dadurch wird Doppelarbeit, aber auch eine Fehlplanung, vermieden. Dies ist insbesondere wichtig, wenn z.B. bestehende Anlagensteuerungen angepasst werden sollen, um bisher nicht verfügbare Daten nutzbar zu machen.

Die maschinenseitigen Herausforderungen zur Schaffung einer Infrastruktur zur Erfassung und Verknüpfung von Informationen wird in Tabelle 3 (M2M)“ näher beschrieben.

Herausforderung Digitalisierung

Bei der Datenerfassung gilt es, eine Datenqualität zu erreichen, die den folgenden Anforderungen genügt:

- > verständlich und möglichst standardisiert
- > relevant, belastbar und widerspruchsfrei
- > eindeutig und zuordenbar
- > aktuell verfügbar
- > ausreichend genau
- > Abdeckung in Breite und Tiefe

Daten können sowohl diskontinuierlich (Event) als auch kontinuierlich anfallen. Die Speicherrate ist folglich datenspezifisch und abhängig vom Datenerzeuger und -Verwender festzulegen und hat Auswirkungen auf die einzusetzende Systemarchitektur.

Eine weitere Herausforderung stellt die Verknüpfung von Informationen dar, um eine realistische, nicht abstrakte Abbildung des realen Geschehens zu erzeugen und Prognosefähigkeit zu erlangen. So ist es zunehmend wichtig, Anlage, Prozess und Produkt sowie die dabei erzielte Qualität (sowohl im Hinblick auf den Prozess als auch das

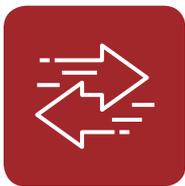
Produkt und Arbeitsumfeld) in Zusammenhang zu bringen. Dafür reicht es nicht mehr aus, Lose und Chargen mit Begleitkarten manuell zu verfolgen. Stattdessen müssen diese an den einzelnen Arbeitsstationen digital bis zum Einzelteil erfasst werden. Die dafür einsetzbaren Methoden wie z.B. die Markierung mittels DMC-Code oder applizierten RFID-Chips sind anwendungsfallbasiert zu wählen. Die zugehörige Infrastruktur zur Erfassung mittels Kamera oder Antennen ist vorzuhalten. Auch sind die eingesetzten Sensoren und sonstigen Messmittel zyklisch zu prüfen, um frühzeitig einen Drift in der Erfassungsgüte festzustellen. Damit kann die benötigte Datengüte gewährleistet werden.

Um diese Zusammenhänge zu koordinieren, empfiehlt es sich, ein Data Governance Framework zu etablieren. Also ein Regelwerk umzusetzen, welches das formale Zusammenspiel von Personen, Prozessen und Technologien beschreibt, die es ermöglichen, Daten als Unternehmensressourcen zu nutzen und aufschlüsselt, welche Informationen wann und unter welchen Umständen mit welchen Methoden verarbeitet werden.

Von der manuellen Datenerfassung zum digitalen Zwilling

Beschreitet man den Weg der Digitalisierung der eigenen Fertigung wird rasch deutlich, dass das Thema schnell an Komplexität gewinnt und viele Facetten umfasst, die es zu berücksichtigen gilt. Die Tabelle 1 im Anhang gibt einen Überblick zu wichtigen Kriterien auf dem Weg von der manuellen Datenakquise hin zum digitalen Zwilling der Fertigung mit seinen Assistenzsystemen.

Die zu den einzelnen Kriterien gehörenden Reifegrade müssen nicht alle gleichermaßen erfüllt sein und sind individuell festzulegen.



Daten-
verarbeitung
in der Produktion

Tabelle 2
im Anhang

Datenverarbeitung in der Produktion

Trotz dezentraler Speichermedien müssen Daten überall verfügbar sein

Manuelle Auswertung und Dokumentation

Bei manueller Dokumentation und Auswertung zum Zwecke von Nachweis und Recherche von Produktionsdaten können diese analogen Daten nicht gehackt werden, die Kosten für Datenbankmanagement, Softwarekosten und geschulte Mitarbeiter sowie Sensorik entfallen. Dagegen stehen Nachteile wie hoher Zeit- und Personalaufwand und dadurch gesteigerte Fehleranfälligkeit oder aufwendige Langzeitauswertung.

Speicherung und digitale Auswertung zur Dokumentation

Dies ermöglicht, je nach Ausbaustufe, eine kostengünstige und fehlerarme Fertigung. Für die Auftragsverfolgung besitzen Maschinen und Anlagen Terminals als Schnittstelle zu den betrieblichen Anwendungssystemen. So erfolgt die Qualitätssicherung häufig teilautomatisiert an Prüfständen, die gemessenen Werte werden händisch oder

digital mit dem Fertigungsauftrag (Charge, Los, Stücknummer) verknüpft. Die Nutzer verfügen über Kompetenzen hinsichtlich Daten-/Informationsinterpretation und Kenntnisse zur „Reparatur“ fehlerhafter Daten. Des Weiteren sind die technischen Komponenten so ausgerüstet, dass Daten erzeugt, gespeichert und – sofern zielführend – eigenständig zu Informationen weiterverarbeitet werden können. Diese Arbeitsweise beruht auf den Rückmeldungen aus der Prozessumgebung. Die damit verbundenen Potenziale lassen sich jedoch nur bei entsprechender Kombination von Datenerfassung und softwarebasierter Datenanalyse nutzen, die weiter in den Händen der Beschäftigten liegt. Hier werden zukünftig KI und Data Mining-Konzepte eine Rolle spielen und den Nutzer unterstützen.

... zur Prozessüberwachung

Voraussetzung ist die Verfügbarkeit relevanter Echtzeitdaten. Damit kann das Prozessverhalten

einzelner Teilprozesse grafisch dargestellt und anhand festgelegter Grenzen überwacht und digital ausgewertet werden. Die digitale Auswertung erfolgt in der Regel mit den standardmäßig verfügbaren Werkzeugen der statistischen Prozesskontrolle. Die Erstellung und Anwendung von Regeln, die auf der Grundlage von Überwachungsinformationen für einen Eingriff in den Prozessablauf erforderlich sind, erfolgt quasi manuell auf Grundlage von personalisiertem Wissen der Mitarbeiter bezüglich der Wirkungszusammenhänge, die den jeweiligen Teilprozess bestimmen. Eine Berücksichtigung der verketteten Wirkzusammenhänge aus dem Zusammenwirken aller Teilprozesse erfolgt in der Regel nicht.

... zur Prozesssteuerung

Die Herstellung von Gussbauteilen beruht auf der Anwendung verschiedener miteinander verknüpfter (Teil-)Prozesse. Die Regelung erfolgt jeweils über entsprechende Steuergrößen auf der Grundlage der Einhaltung fest definierter Prozessgrenzen für jeden einzelnen Regelparameter. Die einzelnen Prozesse und ihre Regelparameter sind zum Teil komplex miteinander vernetzt; es bestehen Interaktionen zwischen Parametern unterschiedlicher (Teil-)Prozesse, sodass das endgültige Eigenschaftsprofil von diesen Interaktionen mitbestimmt, aber nicht explizit in der individuellen Steuerung der einzelnen (Teil-) Prozesse berücksichtigt wird. Moderne Sensoren an Maschinen und in der Fertigung generieren enorme Datenmengen. Mit prozessspezifischer Prognosesoftware können daraus Wirkmuster ermittelt werden. Damit lassen sich dann über eine Verknüpfung mit Prozessregeln Entscheidungsprozesse für optimale Prozesseinstellungen hinsichtlich definierter Bauteileigenschaften initiieren.

Die für die erforderlichen präzisen Prognosen eingesetzten Lerntechniken sind für deterministische (prinzipiell technische) Prozesse gut definiert, aber nicht für kollektive und dezentrale Systeme (Produktion vs. Fertigung). Damit lassen sich optimale Parameter, Prozessbedingungen und -strategien zur Effizienzsteigerung der Fertigung und der Produktqualität ableiten und wieder in das System zurückspielen.

Ist vollständige Rückverfolgbarkeit gegeben, können Muster und Zusammenhänge zwischen Bauteileigenschaften und Produktionsparametern erlernt werden. Dies wird erfolgreich (und wohl



auch praktikabel) durch Anwendung neuronaler Netze betrieben. Ergebnis ist ein datengetriebenes Prozessmodell, das bei bekannten Produktionsparametern die Bauteileigenschaften prognostiziert und anhand ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet. Die Prognose bildet die Grundlage für die Prozesssteuerung. Bevorstehende Ereignisse können antizipiert, Entscheidungen rechtzeitig getroffen und geeignete Reaktionsmaßnahmen eingeleitet werden. Eine hinreichende (Echtzeit-)Verfügbarkeit der prozessbestimmenden Daten ist Basis für eine hohe Prognosegüte und hieraus abgeleiteter Handlungsempfehlungen. Dies erfordert entsprechend leistungsstarke Systeme, die in Reaktion zu Kosten/Nutzen stehen müssen.

... zur Prozessregelung

Prognosefähigkeit ist die Voraussetzung für automatisches Handeln und Selbstoptimierung. Durch kontinuierliche Adaptierung werden Produktions- und Fertigungsprozesse in die Lage versetzt, Entscheidungen IT-Systemen zu überlassen und sich ohne Zeitverlust entsprechend dem „Prozessergebnis“ und den Zielvorgaben auszurichten. Der Autonomiegrad ist eine Frage der Komplexität von Entscheidungen und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses. Häufig ist es sinnvoll, nur einzelne Prozesse autonom zu gestalten. Wiederholbare Arbeitsschritte sollten daher auf grundsätzliche Autonomiefähigkeit hin untersucht werden. So kann beispielsweise auf drohenden Ausschuss automatisch durch Verändern entsprechender Prozesseinstellungen reagiert werden.

Die Tabelle 2 des Reifegradmodelles zur Datenverarbeitung in der Produktion vermittelt einen Überblick zu den wichtigsten Kriterien, die im Zuge der Digitalisierung der Fertigung zu beachten sind.



Maschine zu
Maschine
Kommunikation
(M2M)

Tabelle 3
im Anhang

Maschine zu Maschine Kommunikation (M2M)

Der automatisierte Datenaustausch zwischen Maschinen und Systemen (M2M)

Maschinen und Anlagen sind vielfach das Herzstück heutiger Produktionsstätten. Im Zuge der Digitalisierung von Fertigungsprozessen stehen diese Systeme und deren Vernetzung im Mittelpunkt. Während in der Vergangenheit Anlagen häufig noch autark agieren konnten, ist zunehmend eine Vernetzung zu Anlagenverbänden und Maschinenparks mit vollverkettetem Teilefluss zu beobachten. Durch die Nutzung von Assistenzsystemen gelingt es, die Prozessautomatisierung und die Logistikabläufe immer weiter zu optimieren. Insbesondere wirtschaftliche Zwänge zu effizienteren Fertigungsabläufen treiben diese Entwicklung an und führen dazu, dass eine standortbezogene oder auch eine unternehmensübergreifende Vernetzung der Systeme zum Zweck des Daten- und Informationsaustausches erforderlich wird.

Nutzergerechte Datenaufbereitung und -visualisierung

Während eine Datenspeicherung und -visualisierung in der Vergangenheit nicht erforderlich war bzw. direkt an der Maschine erfolgte, werden Daten zukünftig mit anderen Informationen verknüpft und unter Berücksichtigung der Anforderungen aufbereitet und zentral gespeichert. Die Bereitstellung der mit Informationen aus dem restlichen Produktionsumfeld angereicherten Daten wird anwendergerecht und spezifisch visualisiert. Der Ort der Visualisierung ist dabei nicht mehr auf die Anlage oder eine Andon-Tafel in der Fertigung beschränkt, sondern kann auch in einem (de-)zentralen Leitstand oder der Office-Ebene über PC, Tablet oder Smartphone z.B. webbasiert und über WLAN erfolgen.

Standardisierung mittels Schlüssel-technologie OPC-UA

Unumgänglich für die Vernetzung ist eine Kommunikation zwischen den einzelnen Maschinen und weiteren Geräten der Fertigung. Dazu sind Schnittstellen mit definierten Kommunikationssprachen und Informationsmodellen erforderlich. Herstellerspezifische Lösungen kommen mit zunehmendem Vernetzungsgrad und wachsender Heterogenität des Maschinenparks dabei an ihre Grenzen. Ein standardisiertes Vorgehen, um Maschinendaten zu transportieren und maschinenlesbar semantisch zu beschreiben, ist zwingend erforderlich und wird als Schlüsseltechnologie für M2M-Anwendungen vorausgesetzt werden. Das Kommunikationsprotokoll OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture) der OPC-Foundation setzt sich dabei als designierter Standard durch. Verbände wie der VDMA sind mit ihren Mitgliedern dabei, standardisierte Informationsmodelle auf Basis von OPC-UA, sogenannte Companion Spezifikation, festzulegen und damit die Standardisierung von Daten und Schnittstellen für Maschinen und Komponenten in den verschiedenen Branchen sowohl für die Hersteller als auch die Anwender voranzutreiben. So wird z. B. die OPC-UA Companion Specification für die Robotik (kurz OPC UA Robotics) ein standardisiertes Informationsmodell werden, das in der Lage ist, alle roboterbezogenen Daten unabhängig von Hersteller und Standort einheitlich darzustellen.

Die Schnittstellen müssen aufgrund der zunehmenden Datenlast immer leistungsfähiger werden, sodass ein Wechsel von älteren Bussystemen wie z.B. Profibus zu Profinet und Ethernet erforderlich ist. Zur Erfassung, Speicherung und Weiterverarbeitung großer Prozessdatenmengen aus der Maschine werden die SPS-Systeme (Speicherprogrammierbare Steuerung) der Anlage häufig um sogenannte IoT-Gateways ergänzt. Diese können entweder als ultrakompakter Industrie-PC, sogenannte Edge Devices, oder als softwarebasierte Anbindung der Anlagen-SPS unter Nutzung bestehender Hardware (z. B. Anlagen-PC), sogenannte Software-Gateways, ausgeführt werden. Die Daten stehen im Netzwerk oder in der angeschlossenen Cloud jederzeit zur Verfügung. Die Datensicherheit ist dabei zwingend zu gewährleisten. Bei allen Möglichkeiten, welche die moderne Technik bietet, ist darauf zu achten, dass die Daten sowie die



Maschinen vor dem Zugriff Unbefugter geschützt sind. Dazu müssen geeignete Vorkehrungen zu folgenden Aspekten getroffen werden:

- > Schutz personenbezogener Daten (Vertraulichkeit)
- > Schutz gegenüber Zugriff von Unbefugten
- > Verwaltung von Zugriffsrechten
- > Absicherung ggü. Datenverlust (Verfügbarkeit)
- > Absicherung ggü. Datenveränderung und Manipulation (Integrität)

Neben der Absicherung an der Maschine selbst ist darauf zu achten, dass ein unbefugter Zugriff von außen über das Netzwerk verhindert wird. Eine Möglichkeit ist die Entkoppelung von Anlagen- und Office-Netzwerken durch eine sogenannte demilitarisierte Zone (DMZ). Cloudserver müssen in den Punkten Datenschutz und Datensicherheit zertifiziert sein. Darüber hinaus sollte geprüft werden, in welchen Ländern (z.B. USA oder Deutschland) die Rechenzentren stehen.

Von der autarken Maschine zur Vollvernetzung

Die Tabelle 3 des Reifegradmodells zur M2M-Kommunikation zeigt einen Überblick über die wichtigsten Kriterien, die im Zuge der Digitalisierung der Fertigung und der Vernetzung der Maschinen zu beachten sind. Wechselwirkungen zwischen den Kriterien und den weiteren Tabellen dieses Kompasses sind zu beachten. Der gewünschte Reifegrad ist in Abhängigkeit der unternehmerischen Ziele und des dazugehörigen Geschäftsmodells zu wählen.



Prozessauto-
matisierung
durch Roboter-
einsatz

Tabelle 4
im Anhang

Prozessautomatisierung durch Robotereinsatz

Mit Prozessautomatisierung die Wertschöpfungskette verbessern

Mit dem Einzug der Robotertechnologie haben sich die Möglichkeiten der Prozessautomatisierung in der Gießereibranche über die letzten 25 Jahre grundlegend verändert. Durch Automatisierung schwerer und belastender Arbeiten konnte die Ergonomie in vielen Gießereien deutlich verbessert werden. Moderne Roboter können heute für Lasten >1000 kg ausgelegt werden. Komplexe Greifvorgänge, wie beispielsweise der „Griff-in-die-Kiste“, bei der das Erkennen, Greifen und Ablegen ungeordnet gelagerter Bauteile roboterbasiert erfolgt, gehören durch die Unterstützung moderner und entschieden verbesserter Kamera- und Bildverarbeitungssysteme zum Stand der Technik. Darüber hinaus bieten Roboteranwendungen durch vielfältige Möglichkeiten zur

Integration von Mess- und Prüfsystemen weiteres Potenzial zur effizienten Gestaltung von Fertigungsprozessen.

Programmierung und Validierung

Der Einsatz von Robotern erfordert als Kernaufgabe die Programmierung der Bewegungsabläufe. In der Vergangenheit war dies sehr aufwendig und setzte fundierte Kenntnisse in der Robotik sowie in der herstellereigenen Programmiersprache voraus. In Anbetracht der Anforderungen an die flexible Gestaltung und schnelle Anpassung von Fertigungsprozessen ist dies alternativlos. Roboterprogrammierung muss zukünftig auch für den Maschinenbediener möglich sein.

Die konsequente Weiterentwicklung von Lösungen zur intuitiven Roboterprogrammierung auf Basis

konfektionierter (modularer) Programmbausteine ebnen diesen Weg aber zunehmend. Zudem stehen heute Programme zur Simulation von Robotersystemen für die Auslegung, Optimierung und Validierung von automatisierten Fertigungsprozessen zur Verfügung. Durch kinetisch optimierte Bewegungsbahnen, also bewegungsoptimierter Fahrwege, wird eine energie-, verschleiß- und fertigungszeitoptimierte Auslastung des Roboters und seiner Bestandteile ermöglicht. Durch die Nutzung von Offline-Programmierung und „real time“-Simulationen lassen sich bei Anlauf- und Änderungsprozessen die Ausfallzeiten auf ein Minimum reduzieren.

Standardisierte Schnittstellen und Interfaces

Standardisierte Schnittstellen erleichtern die Integration von Roboteranwendungen. Deren Verfügbarkeit ist eine wesentliche Voraussetzung für vernetzte Anwendungen. Insbesondere für Neuinstallationen sollte dieser Aspekt berücksichtigt werden. Kommunikationsprotokolle wie OPC UA (Open Plattform Communication Unified Architecture) oder MQTT (Message Queue Telemetry Transport) haben sich hier als Standard bewährt und wurden bereits weitgehend etabliert. Sie arbeiten plattformunabhängig, sind skalierbar und internetfähig und erfüllen damit wichtige Voraussetzungen für vernetzte Anwendungen.

Vorausschauende Instandhaltung

Eine hohe technische Verfügbarkeit von Anlagen ist eine wesentliche Voraussetzung für eine kosteneffiziente Produktion. Moderne Sensorik bietet heute weitgehend die Voraussetzung dafür, um durch permanente Erfassung von Maschinenzuständen eine präventive und vorausschauende Instandhaltung durchzuführen. Signalmuster, die auf Störungen oder Verschleiß von Komponenten und Baugruppen hinweisen, sind basierend auf Machine-Learning-Methoden identifizierbar. Somit können Instandhaltungsmaßnahmen angemessen und rechtzeitig eingeleitet werden.

Vom Diagnosesystem bis zu Systemen zur automatischen Disposition von Ersatzteilen kann der Instandhaltungsprozess somit effektiv unterstützt werden.

Kollaborative Roboter

Roboteranwendungen sind heute nicht mehr auf die Durchführung programmierter Prozesse beschränkt. Mit Sensoren ausgestattete

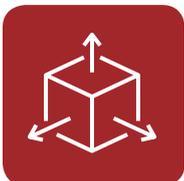


Collaborative Roboter (Cobots) eröffnen eine völlig neue Form der Zusammenarbeit. Damit wird die Integration von Robotern in das Arbeitsumfeld des Menschen möglich.

Als autonome mobile Einheiten können kollaborative Roboter nicht nur intelligent auf ihr Umfeld reagieren – sie sind auch in der Lage, ihren Einsatzort zu wechseln. Durch die Fähigkeit, ortsunabhängig mit Menschen, Maschinen oder Werkstücken zu interagieren, sind die Einsatzmöglichkeiten mobiler Roboter nahezu unbegrenzt. Schon heute können mobile Roboter selbstständig Logistikaufgaben übernehmen, direkt mit dem Menschen zusammenarbeiten oder an unterschiedlichen Arbeitsplätzen schnell neue Aufgaben übernehmen.

Die Tabelle 4 beschreibt Nutzungsbeispiele und Ausprägungsmerkmale für die Anwendung von robotergestützten Automatisierungslösungen und kann Anhaltspunkte für die Standortbestimmung eines Unternehmens liefern.

Inhaltliche Überschneidungen ergeben sich insbesondere zum Kapitel „Maschine zu Maschine Kommunikation“.



Flexible Produktion, flexible Produktionsmittel

Tabelle 5 im Anhang

Flexible Produktion, flexible Produktionsmittel

Flexible Produktion auf dem Weg zur Losgröße 1

Der Einsatz digitaler Methoden unterstützt auch die Umsetzung flexibler Fertigungskonzepte. In diesem Kapitel werden relevante Methoden und die unterschiedlichen Entwicklungsstufen hin zu einer kostenoptimierten Einzelfertigung beschrieben.

Identifikation und Lenkung von Produkten

Mit der Anwendung moderner Datenanalyse steigen auch die Anforderungen an die Identifikation und Rückverfolgbarkeit von Bauteilen. (Nur durch genaue Zuordnung von Produkten/Produktmerkmalen zum Fertigungsprozess lassen sich z.B. Methoden des „maschinellen Lernens“ effektiv umsetzen.) Um dies auch für die Fertigung von Kleinlosen wirtschaftlich darzustellen, ist die

Nutzung individueller Produktmerkmale (z.B. die optische Erkennung der Oberflächentopographie) oder individueller Produktkennzeichnungen sinnvoll. Eine effiziente Lenkung von Produkten (durch die Fabrik) erfordert eine Verknüpfung von Produkt- und Logistikdaten. In einem vernetzten Gießerei-4.0-Szenario schließlich sucht sich jedes einzelne Produkt seinen Weg durch die notwendigen Prozessschritte. Das erfordert Lese-/Schreib- und Sende-/Empfangsfähigkeit der Produkte.

Serielle Gießprozesse

Auch eine flexible Fertigung mit kleinen Losgrößen muss die Anforderungen an Qualität und Wirtschaftlichkeit erfüllen. Dies erfordert robuste Prozesse mit zuverlässigen Regelkreisen.

Voraussetzung dafür ist eine möglichst ganzheitliche Erfassung relevanter Prozessdaten gekoppelt mit einer echtzeitbasierten (oder zumindest zeitnahen) Datenanalyse. Doch kommt auch eine optimierte serielle Gießerei bei immer kleineren Losgrößen an wirtschaftliche Grenzen. Während gleichzeitig Verfahren, die von vornherein auf Einzel fertigung mit digital verknüpfter Konstruktion ausgelegt sind, immer kostengünstiger werden.

Für die Massenfertigung sind mechanisierte, verkettete Anlagen sinnvoll. Bei größerer Produktvielfalt werden flexible Automatisierung und Rüstfreundlichkeit immer wichtiger. Doch wächst mit der Integration von immer mehr Produkten auf derselben Anlage das Verfügbarkeitsrisiko und erreicht eine wirtschaftliche Grenze, sodass Teilprozesse wieder entkoppelt werden. Automatisierte Transportsysteme und die Fähigkeit von Anlagen, miteinander zu kommunizieren, unterstützen einen effizienten Materialfluss. Für Zukunftsanlagen, die Einzelstücke wirtschaftlich urformen können, gilt die Vorstellung, dass die Produkte je nach individuellem Status ihren Weg von einer Anlage zur nächsten finden. Damit wird die ganze Fabrik eine virtuelle Großanlage mit der Fähigkeit zur massenhaften Herstellung von Einzelstücken.

Zukünftige Produktionssysteme

Die Notwendigkeit zur Flexibilisierung von Produktionssystemen resultiert oft aus steigender Variantenvielfalt. Das führt zu höheren Werkzeugkosten pro Stück, die aber kaum an die Endkunden weitergegeben werden können. Kostenmanagement wird wichtiger und gelingt mit BDE-Systemen, welche die dafür erforderliche Datentransparenz ermöglichen. Mit weiterer Produktdiversifizierung sorgt der Kostendruck für das Entstehen einer gut organisierten Wertschöpfungskette, bei der die Prozesse der gesamten Supply-Chain im Idealfall so aufeinander abgestimmt sind, dass Material durchgehend fließt. Für die Produktionsplanung und -steuerung kommen jetzt MES-Systeme zum Einsatz, die alle BDE-, Produkt- und Logistkdaten sammeln und zusammenführen. Eine ganzheitliche Datenanalyse ermöglicht die Bewertung von Produktionsszenarien und die Vorhersage von Auswirkungen auf den Kunden.

Die Anforderungen an die Mitarbeiter hinsichtlich Lern- und Abstraktionsfähigkeit steigen mit den zunehmender Digitalisierung. Mechanisierung und Automatisierung führen zu einer stetigen

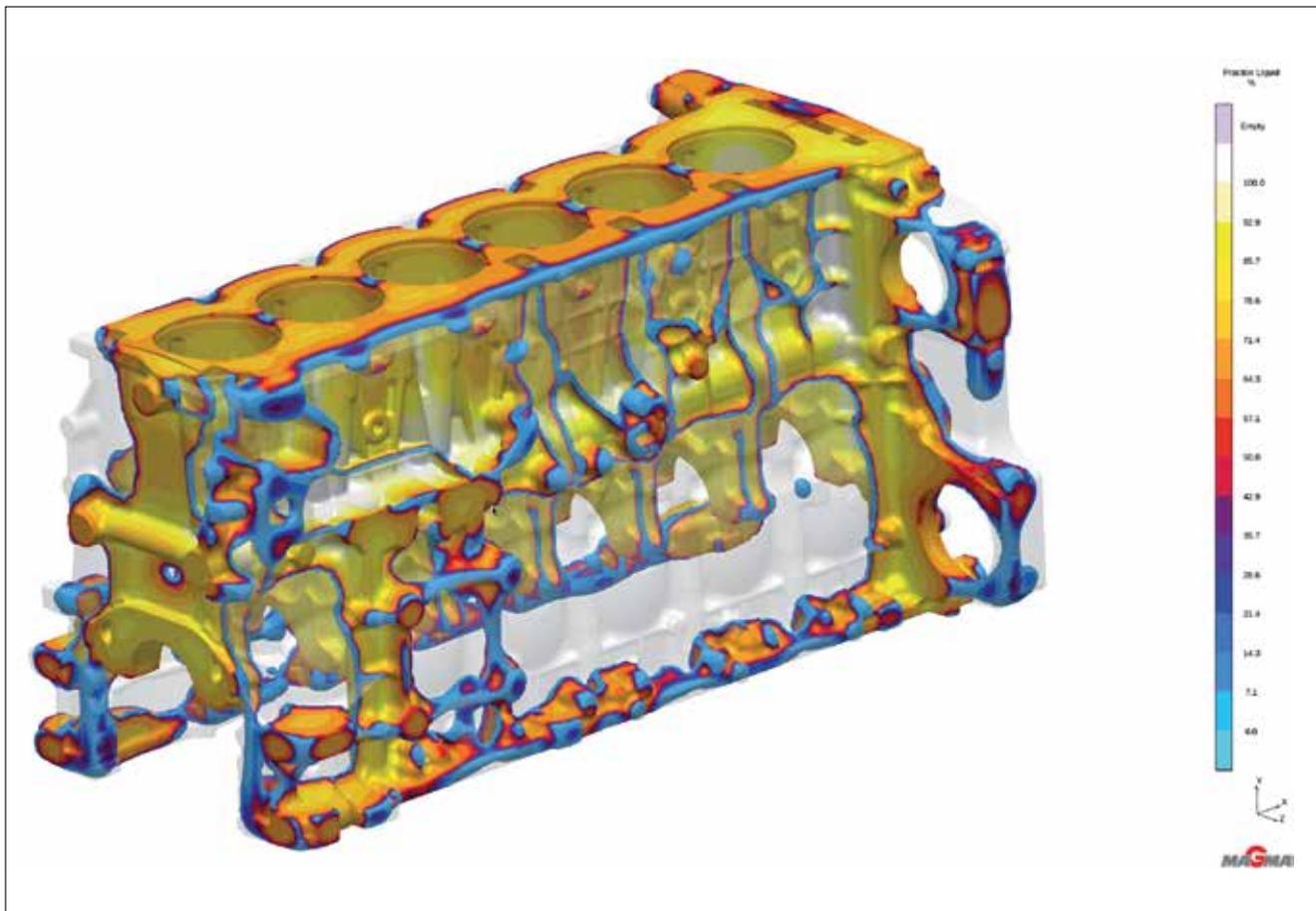


Zunahme von Überwachungstätigkeiten. Zunehmend sind fachübergreifende Zusammenarbeit und Kenntnisse sowohl von technischen als auch von IT-Abläufen erforderlich. Die schrittweise Vernetzung von Anlagen, Werkzeugen, Material und Mensch zu einem digitalen Verbund erfordert die Fähigkeit, Algorithmen für technische und logistische Abläufe zu formulieren. Aufgabe der Führung ist es, das Lernen zu fördern und den Mitarbeitern Sinn und Attraktivität des jeweils nächsten Entwicklungsschrittes zu vermitteln. Dazu muss die Führung selbst eine klare Vorstellung vom Nutzen fortschreitender Digitalisierung haben und überwachen, ob er auch tatsächlich eintritt.

Big Data-Analytik

Für einen Fertigungsprozess, der weitgehend auf bauteilspezifischen Parametern basiert, erhöht sich mit kleineren Losgrößen auch der Steuerungsaufwand und das Fehlerrisiko. Das sichere Steuern relevanter Prozessparameter und die Berücksichtigung der Wechselwirkung verschiedener Prozessparametern sind dabei unerlässlich. Big-Data Analytik kann hier z. B. zur Identifikation von qualitätsfähigen Prozessvarianten/Prozessfeldern eingesetzt werden.

Das Ziel ist ein Prozess des maschinellen Lernens, der aus dem kontinuierlichen Abgleich von Prozess- und (Guss)-Ergebnisdaten den Fertigungsprozess nach festgelegten Prioritäten (Qualität, Kosten ...) parametrisiert.



CAx-Technologien

Tabelle 6
im Anhang

CAx-Technologien (computer-aided)

Computergestützte Workflows von der Entwicklung bis zur Fertigung

CAx-Technologien als Oberbegriff für computer-gestützte Prozesse, die auf die Entwicklung und Konstruktion sowie die nachgelagerte Bearbeitung von Bauteilen abzielen, sind seit mehr als 20 Jahren in der Gießereibranche etabliert.

Zur schnellen und effizienten Erzeugung von 3-D-Datenmodellen, die wiederum die Grundlage für eine Vielzahl von Anwendungen wie etwa der Topologieoptimierung oder der Simulationen zur Formfüllung, Erstarrung und Wärmebehandlung, sind, bilden die CAx-Verfahren ein wichtiges Kernelement.

Diese Anwendungen benötigen zusätzlich genaue Werkstoffdaten, die wiederum von unterschiedlichen Parametern wie exakte chemische Zusammensetzung, Temperatur und Belastungsgeschwindigkeit abhängen. Werkstoffbezogene Optimierungen hinsichtlich Kosten, Betriebsfestigkeit

und Prozessstabilität nutzen vielfach die Ergebnisse von ICME (Integrated Computational Materials Engineering).

CAx-Anwendungen über die gesamte Wertschöpfungskette

Die Anwendung von CAx-Technologien erstreckt sich heute über die gesamte Wertschöpfungskette von der Produktentwicklung über die Auslegung von Fertigungsprozessen bis hin zur Prüfung und Überwachung von Bauteilen.

Technologien wie der 3-D-Druck sind ohne digitale Bauteildaten nicht anwendbar. Aber auch moderne PLM-Systeme (Product-Lifecycle-Management) basieren weitgehend auf CAx-Technologien. Hinzu kommen neue Methoden der Lebensdauer- bzw. Betriebsfestigkeitsanalyse, die auf digitale Werkstoffdaten, digitale

zerstörungsfreie Messverfahren sowie die numerische Simulation zurückgreifen, um die Lebensdauer bauteil- und werkstoffbezogen analysieren zu können.

Hoher Reifegrad bereits beim ersten Abguss

Bei der Entwicklung von Bauteilen ermöglicht die konsequente Nutzung von CAx-Technologien ein funktionsübergreifendes paralleles Arbeiten („simultaneous engineering“). Die Verfügbarkeit aktueller Geometrie- und Werkstoffdaten für alle Prozessbeteiligten sichert dabei eine hohe Transparenz im Entwicklungsprozess. Gleichzeitig wird die Zusammenarbeit mit integrierten Workflows für Änderungsmanagement und Freigabeprozesse im PLM verbessert.

Ein gutes Beispiel ist die Parallelisierung von konstruktiver Auslegung und Prozesssimulation. Der Entwickler kann bereits in der Entwurfsphase erste Erkenntnisse aus der Gießsimulation (Gießbarkeit, Werkstoffverhalten) bei der konstruktiven Auslegung berücksichtigen. Das Resultat sind dann Erstabgüsse mit bereits gutem Reifegrad. Neben der zeitlichen Ersparnis im Entwicklungsprozess können so der Umfang und damit auch die Kosten für die Erprobung mit realen Bauteilen deutlich reduziert werden.

Meilenstein in der Messtechnik

Durch den Einzug digitaler Messverfahren, wie der optischen Messtechnik oder der tomografischen Ultraschalltechnik „Sampling Phased Array“ zur Abbildung von Ungängen im Gussbauteil, wurden klassische Messverfahren ersetzt. Dies schaffte Möglichkeiten, Messdaten in die numerische Simulation, etwa für einen Lebensdauernachweis des Bauteils, überführen zu können. Voraussetzung für die Anwendung dieser Verfahren ist auch hier die Verfügbarkeit von 3-D-Datenmodellen. Der Zeitbedarf für die vollständige Vermessung von komplexen Bauteilen wie Zylinderköpfen oder Zylinderkurbelgehäusen liegt bei weniger als 10 % verglichen mit klassischen Methoden.

Das Ergebnis sind vollflächige Datenmodelle des realen Bauteils, die den Informationswert einer klassischen Bauteilbemusterung auf Zeichnungsbasis deutlich übertreffen. Gleichzeitig bieten diese Verfahren anwenderfreundliche Visualisierungsmöglichkeiten, die Abstimmungsprozesse beschleunigen und Kosten einsparen

– darüber hinaus bilden sie ein wichtiges Hilfsmittel für das Reverse Engineering: Vom (alten) Produkt zum digitalen 3-D-Modell.

Wieviel CAx-Technologie braucht die Gießerei?

Die Tabelle 6 beschreibt Nutzungsbeispiele und Ausprägungsmerkmale für die Anwendung von CAx-Technologien und kann Anhaltspunkte für die Standortbestimmung eines Unternehmens liefern.

In welchem Umfang diese Technologien genutzt werden, hängt dabei maßgebend von den Zielsetzungen und vom Geschäftsmodell eines Unternehmens ab. Für eine Gießerei, die sich als Entwicklungspartner auf die Volumenproduktion bestimmter Produkte spezialisiert hat, ergeben sich andere Anforderungen als für eine Kundengießerei mit breitem Teilespektrum und kleinen Losgrößen.

CAx-Technologien bieten darüber hinaus Möglichkeiten zur Vereinfachung und zur Gestaltung von effizienten Abläufen wie z.B. in elektronischen PLM-Workflows. Eine systematische Bewertung solcher Potenziale scheint daher auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht unabdingbar.

Herausforderung Datenkompatibilität

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung von CAx-Verfahren ist die Nutzung aktueller Versionen der Daten, die Einhaltung präziser Werkstoffdaten für die FEM-Simulation, eine verlustfreie Datenübertragung sowie präzise Werkstoffdaten. Das Konvertieren von Daten ist in der Regel machbar, es bedeutet aber Mehraufwand und ist eine potenzielle Fehlerquelle.

Für Bestandsprodukte ist eine Überführung in ein 3-D-Datenmodell notwendig. Empfehlenswert ist es, einen 3-D-Datensatz auf Basis des realen Bauteils aufzubauen, das meist einen hohen geometrischen Reifegrad repräsentiert.

Die Nutzung von digitalen Geometrie- und Werkstoffdaten als CAx-Kernfunktion ist eine Voraussetzung für viele 4.0-typischen Prozesse. Inhaltliche Überschneidungen zu anderen Kapiteln, insbesondere zu den Themen Produktentwicklung und Prozessentwicklung, ergeben sich dadurch zwangsläufig.



Produktentwicklung

Tabelle 7
im Anhang

Produktentwicklung

Systematisch und schnell zum virtuellen Produkt

Die Produktentwicklung eröffnet die Möglichkeit durch neue oder verbesserte Produkte Wettbewerbsvorteile und Wachstum zu realisieren. Ziel ist die Bereitstellung der für die Produktion erforderlichen Stammdaten auf Basis vorgegebener Randbedingungen und sonstigen Anforderungen der Kunden. Somit liegt der Fokus der Produktentwicklung auf der Erstellung geometrischer Modelle und Vorgaben für die Werkstofftechnologie. Die Digitalisierung ist dabei ein Schlüssel für den „Erfolg beim ersten Abguss“, da durch „Simultaneous Engineering“ ein hoher Reifegrad bereits im digitalen Entwurf erreicht werden kann.

Eng verzahnt mit der Produktentwicklung sind die Produktionsplanung/Prozessentwicklung und Fertigung – hier werden die Ergebnisse fertigungstechnisch in Form materieller Produkte umgesetzt.

Unterschiedliche Schwerpunkte

Die Produktentwicklung verfolgt in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Unternehmens unterschiedliche Ziele zur Differenzierung am Markt:

- > Erarbeitung neuer, anspruchsvoller Produkte mit überlegenen Eigenschaften wie z.B. Leichtbau und besondere Funktionen
- > Erarbeitung von Vorteilen durch minimale Kosten und Durchlaufzeiten (wenn z.B. das Produkt weitgehend von Kunden vorgegeben ist).

Dabei sind robuste Produktfunktionen, d.h. minimale Schwankungen und hohe Reproduzierbarkeit der spezifizierten Qualität sowie Ressourcenschonung, wichtige Randbedingungen. In den letzten Jahren hat darüber hinaus das Thema Compliance in Bezug auf das Inverkehrbringen verbotener Substanzen, z. B. REACH, ROHS vor allem länderüber-



greifend eine zunehmende Bedeutung gewonnen.

Die Produktentwicklung ist ein wichtiger Treiber für die Umsetzung eines digitalen Produktlebenszyklus – Digitale Zwillinge sind ein Kern von Industrie 4.0. Die bisherige Zeichnungsdatenverwaltung hat sich in den letzten Jahren hin zum Produktlebenszyklusmanagement (PLM-Systeme) entwickelt. Der digitale Reifegrad der Produktentwicklung wird anhand der folgenden Kriterien bewertet:

- > Produktentwicklungsprozess: Inwiefern sind Entwicklungsprozesse formal beschrieben und werden Prozesse abteilungsübergreifend (inklusive Prozessplanung und Fertigung) über digitale Workflows unterstützt? Dies beinhaltet beispielsweise die Prozesse für Änderungs- und Konfigurationsmanagement sowie Freigabeprozesse, die Kernelemente des Gesamt-Entwicklungsprozesses inklusive Risikomanagement sind.
- > Digitales Geometriemodell: Wird das digitale 3-D-Geometriemodell prozessübergreifend für unterschiedliche Fragestellungen genutzt, z.B. für Topologieoptimierung, Erstarrungs- und Formfüllungssimulation, Wärmebehandlungssimulation und Prüfplanung?
- > Wissens- und Konfigurationsmanagement: Wird Wissen systematisch erfasst, aufbereitet und verfügbar gemacht – ist dies mit Produktstrukturen und Werkstoffdaten verknüpft? Werden Produktstrukturen im gesamten Lebenszyklus genutzt (Entwurf – Fertigung – Wartung – Instandhaltung)?
- > Werkstofftechnologie: Gibt es Werkzeuge für die Berechnung und Speicherung von Werkstoffdaten – inwiefern werden die Potenziale durch modifizierte Werkstoffe, z.B. Kostenminimierung durch eingeschränkte Legierungsspannen im

Rahmen der Vorgaben, und Wärmebehandlungen systematisch genutzt?

- > Vernetzung und Integration: Ist die Produktentwicklung Bestandteil digitaler Wertschöpfungsketten über Unternehmensgrenzen hinweg? Ist die Produktentwicklung mit der Prozessentwicklung, welche die Planung und Realisierung des Fertigungsprozesses beschreibt, eng verzahnt? Werden Produkt- und Werkstoffdaten in digitalen Workflows (z. B. PLM) mit Kunden und Lieferanten ausgetauscht oder arbeitet man simultan an gemeinsamen Modellen?

Wandel hin zur digitalen Fabrik

Auf dem Weg zu einer digitalen Fabrik mit durchgängiger EDV-Begleitung und -Abbildung ist die Produktentwicklung eng mit den folgenden Themen verknüpft: 6 - CAx-Technologien, 8 - Prozessentwicklung, 9 - Informations- und Kommunikationsstruktur, 10 - Mitarbeiter, Führung und Organisation.

Die Digitale Fabrik bzw. Industrie 4.0 ist dabei durch funktionsübergreifende Prozesse gekennzeichnet. So arbeiten z.B. Mitarbeiter aus der Entwicklung digital mit Mitarbeitern der Produktionsplanung zusammen. Das sogenannte Simultaneous Engineering generiert auf diese Weise frühzeitige Entscheidungssicherheit und Einsparungspotenziale hinsichtlich Zeit und Kosten.

Eine pauschale Maximierung des eigenen Produktentwicklungsreifegrades bzw. des Einsatzes digitaler Methoden und Hilfsmittel ist nicht notwendigerweise zielführend oder sinnvoll. Gezielte Potenzialanalysen sollten auf Basis von „Best Practices“ unter Berücksichtigung der strategischen Unternehmensziele zu wirtschaftlich vernünftigen Handlungsempfehlungen führen.



Prozessentwicklung

Von der Ideenfindung bis zum Workflow

Prozessentwicklung

Tabelle 8
im Anhang

Die Prozessentwicklung beschreibt die verfahrenstechnische Planung und Realisierung des Herstellungsprozesses beziehungsweise der Fertigungskette eines Gussproduktes. Die Prozessentwicklung ist unterteilt in die zum Teil parallel ablaufenden Schritte Produktionsplanung, Beschaffung und Produktion. Unter der Produktionsplanung sind die Aktivitäten zur Anlaufsteuerung bis zum Beginn der Serienfertigung angesiedelt. Die Produkteigenschaften sind dabei von besonderer Bedeutung für die Planung. In der Phase der Beschaffung erfolgt die Bereitstellung der erforderlichen Werkzeuge, Anlagen/Maschinen und Betriebsmittel. Die Produktionsphase umfasst die Stadien Pilotserie, Produktionshochlauf und Serie.

Essenzielle Anforderungen

Wesentliche Forderungen an die Prozessentwicklung sind:

lung sind:

- > Minimale Durchlaufzeit für Prozessplanung und -technik
- > Optimale Leistungs-, Wirtschaftlichkeits und Qualitätsparameter des Herstellungsprozesses der Gussprodukte
- > Maximale Effizienz im Einsatz von Ressourcen und Kapazitäten
- > Zuverlässige Einhaltung der spezifizierten Produktfunktion – Reproduzierbarkeit!

Die Bewertung des Reifegrads der Prozessentwicklung orientiert sich an der Planbarkeit und Wiederholbarkeit der Fertigungsverfahren. Das Reifegradmodell ist gegliedert in fünf Stufen:

- > Unvollständig: ereignisbasierte Entwicklung und Optimierung von Prozessen



- > Strukturiert: wiederholbare Prozessauslegung auf Basis von Parametervariationen und bereits identifizierter Abhängigkeiten (Interdependenzanalysen)
- > Standardisiert: vorhersagbare Prozessoptimierung durch erfahrungsbasierte Korrelationsanalysen
- > Beherrscht: simulationsgestützte Prozessentwicklung
- > Optimiert: methodische Prozessauslegung auf Basis virtueller Varianten und autonomer Optimierung

Enge Verzahnung von Prozess- und Produktentwicklung

Die Prozess- und die Produktentwicklung sind inhaltlich eng miteinander verzahnt. Grund sind die wechselseitigen Input-/Outputbeziehungen beim Austausch von Zwischenergebnissen der Entwicklungsarbeit mit Kunden und Lieferanten. Jede verfahrenstechnische Entwicklung hinsichtlich Wirtschaftlichkeits- oder Qualitätszielen erfordert die kontinuierliche Betrachtung möglicher Einflüsse auf die Produktfunktion. Die hierzu notwendigen Schnittstellen zwischen Produkt- und Prozessentwicklung bewirken einen hohen Koordinationsbedarf, kosten Zeit, erzeugen Informationsverluste und bremsen den Entscheidungsprozess. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen kommt der Schnittstellengestaltung daher eine hohe Bedeutung zu. Neben der Reproduzierbarkeit ist der Reifegrad der Prozessentwicklung daher auch durch die methodische Gestaltung und systematische Nutzung von Schnittstellen geprägt – vielfach unter Anwendung digitaler und virtueller Methoden und Hilfsmittel.

Das Reifegradmodell der Prozessentwicklung ist, ebenso wie das Reifegradmodell der Produktentwicklung als übergeordnete thematische Klammer zu den weiteren Reifegradmodellen des Kompasses zu verstehen. Die Prozessentwicklung beinhaltet eine komplexe technische und organisatorische Verzahnung folgender Reifegradmodelle:

- > 5 - Flexible Produktion/Flexible Produktionsmittel
- > 6 - CAx-Technologien
- > 7 - Produktentwicklung
- > 9 - Informations- und Kommunikationsstruktur
- > 10 - Mitarbeiter, Führung und Organisation

Analog zur Produktentwicklung besteht eine besondere Herausforderung der digitalisierten Prozessentwicklung in dem erhöhten Informationsaustausch, der Organisation der Informationshoheit sowie einem komplexen Projektmanagement.

Unternehmensspezifischer Handlungsbedarf

Eine pauschale Maximierung des eigenen Prozessentwicklungsreifegrades bzw. des Einsatzes digitaler Methoden und Hilfsmittel ist nicht notwendigerweise zielführend oder sinnvoll. Zur Ableitung unternehmensspezifischer Handlungsbedarfe können folgende Fragestellungen hilfreich sein:

- > Welche technologischen Schnittstellen zu Kunden und Lieferanten sind strategisch relevant?
- > Inwieweit ist die operative Prozessentwicklung hinsichtlich methodischer Risikominimierung, Rückverfolgbarkeit und Qualitätsvorhersage dokumentiert?
- > Welche digitalen Hilfsmittel können hier sinnvoll unterstützen?



Informations- und Kommunikationsstruktur

Tabelle 9 im Anhang

Informations- und Kommunikationsstruktur

Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik

Die Informations- und Kommunikationsstruktur beschreibt zum einen die Art und Weise, wie Mitarbeiter innerhalb eines Unternehmens über alle Fachbereiche und Hierarchieebenen miteinander kommunizieren und Daten sowie Informationen in der Produktion austauschen und definiert zum anderen auch Wege und Möglichkeiten zur externen Kommunikation und zum externen Datenaustausch von Unternehmen mit Kunden, Lieferanten und Partnern. Im Gegensatz zum Bereich der Datenerfassung und Datenanalyse, die sich mit den Informationen von Sensoren und Anlagen und der Kommunikation und dem Datenaustausch von Maschinen befassen, steht in diesem Themengebiet der Mensch im Fokus.

Interne und externe Kommunikation

Neue digitale Technologien verändern zunehmend die Art und Weise, wie wir miteinander kommunizieren – ob im Beruf oder in der Freizeit. Der klassische Brief wurde weitestgehend durch die E-Mail abgelöst und soziale Netzwerke haben sich auch innerhalb von Unternehmen etabliert. Das eigene Smartphone ist dabei oftmals der Schlüssel zur digitalen Welt und wird zunehmen durch weitere Smartdevices und Wearables wie z.B. Smartwatches ergänzt. Die Entwicklungen zielen dabei auf eine immer schnellere und effizientere Kommunikation ab.

Auf Büroebene verläuft die digitale Entwicklung in den meisten Unternehmen weitestgehend einheitlich und zeitgleich ab. Die Investitionen für

moderne Videokonferenzsysteme beispielsweise sind überschaubar und haben sich bereits nach wenigen eingesparten Dienstreisen amortisiert. Zudem wird die Kommunikation effizienter, wenn der Gesprächspartner nicht nur akustisch, sondern auch visuell verfügbar ist, da ja bekanntermaßen ein großer Teil der Kommunikation des Menschen nonverbal erfolgt. Größere Investitionen können zukünftig notwendig werden, wenn die Zusammenarbeit durch Virtual Reality unterstützt wird. Speziell in Kombination mit dem digitalen Zwilling der Produktion kann mittels virtueller Präsenz von jedem Ort aus direkt an den digitalen Abbildern der Produktion oder des Produktes eine Zusammenarbeit erfolgen, ohne kostenintensive und zeitaufwendige Dienstreisen durchführen zu müssen. Darüber hinaus können am digitalen Zwilling Simulationen und Schulungen durchgeführt werden, die an der laufenden realen Anlage nicht ohne Weiteres möglich sind. Die Einführung von Virtual Reality-Technologien könnte hierbei besonders für kleinere Firmen eine große Herausforderung darstellen.

Daten- und Informationsaustausch

Das Wissen von Mitarbeitern eines Unternehmens zu teilen und zu archivieren ist für den Erfolg einer Firma essenziell. Daten werden heute nicht mehr auf CDs gebrannt oder auf lokalen Rechnern gespeichert, sondern in Rechenzentren oder in der Cloud archiviert und ausgetauscht, sodass sie für alle Schnittstellenpartner verfügbar sind und vor Datenverlust geschützt sind (data safety). Der klassische Aktenordner wird in der papierlosen Fabrik verschwunden sein. Speziell beim Austausch von Daten mit externen Partnern über das Firmennetzwerk hinweg sind Sicherheitsthemen zum Schutz der Daten und Information von hoher Relevanz (data security). Die Standards für einen reibungsfreien und dennoch sicheren Datenaustausch aus der Cloud auch über Firmennetzwerke hinweg stellt die Informationstechnologie sicher noch vor große Herausforderungen. In den Medien sind Fälle von Datendiebstahl auch bei größeren Firmen aus der IT-Branche keine Seltenheit. Für produzierende Unternehmen kann dies fatale Folgen haben.

Kommunikation und Datenaustausch in die Produktion

Ein wesentlicher Beitrag zur Effizienzsteigerung



innerhalb der Produktion wird durch die Methoden der Kommunikation und des Datenaustauschs in die Produktion erreicht. Hiermit ist sowohl der notwendige Austausch von Daten und Informationen über Fahrweisen und Produktspezifikationen aus der Prozess- und Produktionsplanung in die Fertigung gemeint als auch die Bereitstellung sämtlicher Informationen für eine effiziente Instandhaltung. Speziell bei geringen Losgrößen ist eine agile und effiziente Kommunikation erforderlich, um unnötige Stillstandszeiten und einen erhöhten Rüst- und Einrichtaufwand zu vermeiden. Notwendige Informationen müssen in der Fertigung schnell und einfach verfügbar sein. Augmented Reality mithilfe von Smart Glasses und mobilen Endgeräten ermöglichen den raschen Zugriff auf alle relevanten Informationen in einer für den Arbeiter gut interpretierbaren Art und Weise.

Die Tabelle 9 zum Reifegrad der Informations- und Kommunikationsstruktur unterscheidet dabei zum einen die firmeninterne und externe Kommunikation sowie die Bereitstellung und den Austausch von Daten innerhalb eines Firmennetzwerkes und mit externen Partnern. Hierbei handelt es sich um eine zielgerichtete (Punkt-zu-Punkt-) Kommunikation, bei der hinter jedem Absender ein oder mehrere definierte Empfänger stehen. Bei der ungerichteten Kommunikation handelt es sich meist um die Bereitstellung von Informationen über Produkte und Serviceleistungen auf der Homepage, Beiträgen in Online-Communitys oder Werbung in sozialen Netzwerken, die sich an potenzielle Kunden richten und meist über den Vertrieb gesteuert werden.



Mitarbeiter,
Führung und
Organisation

Tabelle 10
im Anhang

Mitarbeiter, Führung und Organisation

Der Mensch im Mittelpunkt

Die Arbeit in der Gießerei-Industrie ist seit jeher stark durch die Erfahrungen und das Know-how der Mitarbeiter geprägt. Auch wenn der Einsatz von Maschinen- und Anlagentechnik sehr hoch ist, ist der Digitalisierungs- und Vernetzungsgrad Mensch-zu-Maschine und Maschine-zu-Maschine im Verständnis von Industrie 4.0 gering. Dabei sind die Mitarbeiter im privaten Umfeld oft schon weiter, kommunizieren über Smartphones, bestellen online Ware und schalten ihre Rollläden und Stehlampen über Smart-Home-Anwendungen.

Arbeitswelt im digitalen Wandel

Wie passt sich die Arbeitswelt dem digitalen Wandel an? Welche Bedingungen müssen von der Organisation geschaffen werden und von der Führung vorgelebt werden? Für eine, in ihren Arbeitsabläufen so unterschiedlich aufgestellte Branche

ist das schwer zu beantworten. Und doch gibt es gewisse Punkte und Voraussetzung, die für alle gelten.

Aus Industrie 4.0 wurde schnell Arbeit 4.0 extrahiert, da sich mit der 4. Industriellen Revolution auch die Arbeit und die Fähigkeiten der Mitarbeiter maßgeblich ändern sollen bzw. müssen. Wie sieht es also in der Gießerei 4.0 aus? Gibt es noch den Handformer in der Formerei oder übernimmt das zukünftig ein Roboter, der seine Daten direkt aus der Konstruktion erhält? Steht noch ein Gießer an der Niederdruckguss- oder Druckgussanlage und bemustert die Form? Oder steuert sich die Anlage selbst, anhand der Sensordaten, die sie direkt aus Form und Bauteilen erhält? Sind die Putzereien menschenleer, weil autonome Flurförderfahrzeuge Gussteile anhand ihrer Bauteilkennzeichnung zum gerade als „frei“ gemeldeten



Bearbeitungszentrum fahren, das die passenden Fräßprogramme zum Bauteil aus der Cloud lädt und den voraussichtlichen Werkzeugverschleiß ans Bearbeitungszentrum meldet, wo automatisch die Ersatzteilbestellung im Warenwirtschaftssystem erfolgt?

Der Mensch wird nicht überflüssig

Diese Zukunft ist noch fern und könnte, wenn man Elon Musk glauben darf, vielleicht auch ganz anders kommen: „Ja, eine übermäßige Automatisierung bei Tesla war ein Fehler. Um genau zu sein, mein Fehler. Menschen werden unterschätzt.“ Wie also passt der geschätzte Mensch in die Gießerei 4.0? Wie ist seine Führung strukturiert? Und wie das Unternehmen organisiert?

Mit Industrie 4.0 ist neben der Digitalisierung von Arbeits- und Prozessabläufen immer auch eine starke Vernetzung aller Teilbereiche, der Maschinen und der Logistik, gemeint. Dies findet sich auch in der Arbeit 4.0 wieder. Linienstrukturen lösen sich auf und die Mitarbeiter werden mehr zu Prozessexperten, die in Teams projektorientiert agieren. Dabei arbeiten Mensch und Maschine immer mehr zusammen, wobei die Maschine nicht mehr nur reines Werkzeug des Menschen ist.

Das alles kann nicht ohne eine Veränderung der Unternehmensorganisation erfolgen. Bei fortschreitender Flexibilisierung der Arbeit muss sich die Organisation anpassen, um integriertes zusammenarbeiten auch über die Firmengrenzen hinaus zu ermöglichen.

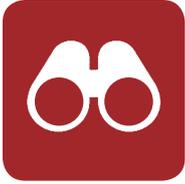
Sinnvolle Schritte dieses organisatorischen Wandels sind in ein Reifegradmodell überführt.

Ergebnis ist eine Matrix mit Beschreibung der Fähigkeiten des Mitarbeiters, die Struktur der Führung dieser Mitarbeiter und der Unternehmensorganisation. Damit ist für jedes Unternehmen eine Einordnung möglich sowie die Einschätzung, welcher Reifegrad zu den strategischen Zielen des Unternehmens passt. Das „Reifegrad“-Modell, mit wachsender Reife von links nach rechts wie in den vorherigen Kapiteln, ist hier allerdings eher fließend als in festen Stufen zu sehen. Dieser Fluss orientiert sich dabei an der Organisationsstruktur des Unternehmens.

Die besondere Herausforderung dieser Tabelle besteht darin, die doch sehr speziellen Fähigkeiten der Mitarbeiter sowie die Ansprüche an Führung und Organisation aus den vorherigen Kapiteln stimmig zusammenzufassen. Dieses Kapitel steht den anderen Kapiteln untergeordnet nach. Die Kriterien für Mitarbeiter, Führung und Organisation leiten sich aus den anderen Kapiteln ab oder bedingen diese.

Spezielle Herausforderungen

Elon Musks Zitat gibt auch hier den passenden Hinweis. Die Meisterung des sinnvollen Einsatzes der neuen Technologien und der Zusammenarbeit aller Mitarbeiter mit diesen Technologien zur Steigerung der Produktivität der Gießerei gilt es zu schaffen. Die wirtschaftliche und soziale Mischung zu finden und gleichzeitig als innovativer Arbeitgeber zu gelten, der für die „Digital Natives“ eine interessante Beschäftigung bietet, wird die Herausforderung der nächsten Jahre sein.



Ausblick – Digitalisierung als Erfolgchance

Für den „digitalen Wandel“ gibt es keinen Königsweg oder Masterplan, vielmehr stellt sich für jedes Unternehmen die Frage, wie digitale Methoden operative und strategische Zielsetzungen unterstützen können. Der BDG-Kompass Gießerei 4.0 liefert dazu eine Orientierungshilfe mit dem Schwerpunkt Produktion.

Dieser Kompass ist ein Gemeinschaftswerk der Mitglieder des BDG-Arbeitskreises Gießerei 4.0. Die Tabellen und Begleittexte sind von Themenverantwortlichen und Co-Referenten auch für diese überarbeitete Auflage ausgearbeitet und im Arbeitskreis diskutiert und durch ein Redaktionsteam bearbeitet worden. Für die abschließende Redaktion und die Gestaltung der Broschüre konnte auf das bewährte Team der BDG-Redaktion zurückgegriffen werden. Allen Beteiligten sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Die Broschüre wurde zudem ergänzt durch Anmerkungen zur Vorgehensweise, eine Übersichtsgrafik sowie ein Glossar.

Was kommt nach dem BDG Kompass Gießerei 4.0?

Der Arbeitskreis versteht sich als Plattform für den Erfahrungsaustausch und für die Zusammenarbeit im Bereich digitaler Methoden und Prozesse in der Gießereibranche. Um den BDG-Mitgliedsfirmen den Austausch guter und bester Vorgehensweisen (Best Practice Sharing) zu ermöglichen, werden im BDG-Extranet für die Mitgliedsfirmen

Beispiele und Use-Cases zur Verfügung gestellt, welche Informationen zur praktischen Umsetzung von Digitalisierungs-Projekten enthalten. Dabei werden wir versuchen, uns auch zukünftig auf die Themen zu fokussieren, die einen Mehrwert im Sinne effizienter und kostenoptimaler Prozesse sowie qualitätsfähiger Produkte bieten.

Ihr Beitrag ist uns wichtig

- > Geben Sie uns ein Feedback zum BDG Kompass Gießerei 4.0!
- > Teilen Sie mit uns Ihre Erfahrungen im Bereich Digitalisierung mit einem Beitrag auf unserer Infoplattform!
- > Welche Erfahrungen haben Sie mit der Digitalisierung in Ihrem Unternehmen?
- > Wo liegen die Herausforderungen für Ihr Unternehmen?
- > Ihre Meinung und Ihr Beitrag sind uns wichtig! Wir freuen uns über Ihre Rückmeldung unter:

giesserei4punkt0@bdguss.de

BDG-Kontakt:

Dipl.-Ing. C. Troglia
Bereichsleitung Technik und Innovation
Tel.: +49 (0) 2 11/68 71-3 39
cesare.troglia@bdguss.de



**Bundesverband
der Deutschen
Gießerei-Industrie (BDG)**

Hansaallee 203
40549 Düsseldorf
Internet: www.bdguss.de

BDG Kontakt:

Dipl.-Ing. Cesare Troglia
Bereich Technik und Innovation
Telefon: +49 (0) 2 11/68 71-3 39
E-Mail: cesare.troglia@bdguss.de