

# Symbiose zwischen Werkzeugbau und Serienproduktion

## Leitfaden zur Entwicklung vorausschauender Wartungssysteme

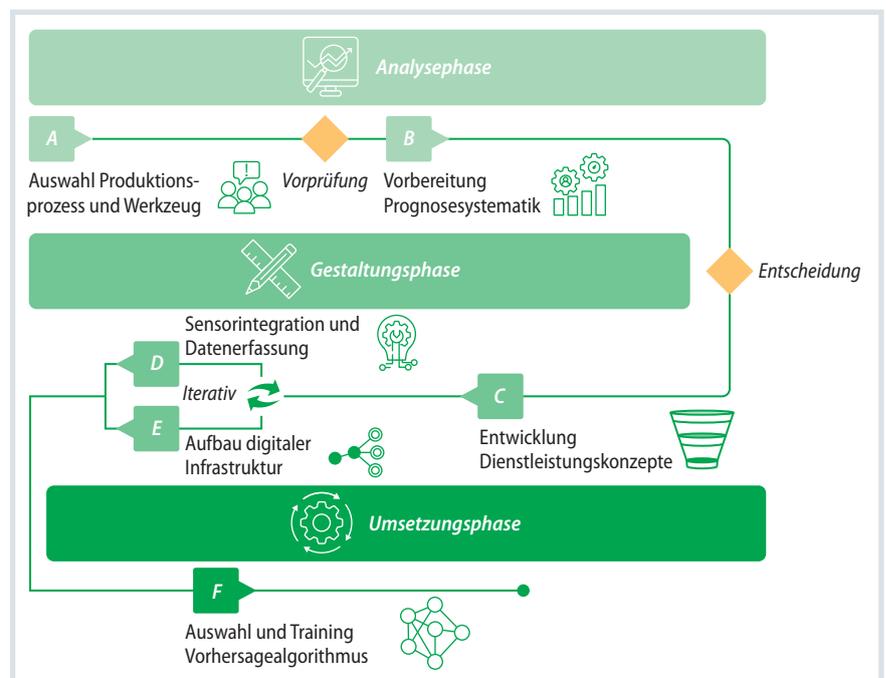
Unvorhergesehene Stillstände in der Serienproduktion gehen immer mit hohen Kosten einher. Daher müssen Maschinen rechtzeitig gewartet werden. Da die Sensor-, Übertragungs- und Datenspeichertechnik in den letzten Jahren einen Sprung gemacht hat, ist die vorausschauende Wartung, Predictive Maintenance genannt, heute schon in einigen Branchen Realität und demonstriert dabei einen konkreten Nutzen von Industrie 4.0. WZL und WBA haben dazu einen Leitfaden entwickelt.

**P**roduktionsstillstand – das Worst-Case-Szenario für jeden Serienproduzenten! Bereits fünf Minuten Stillstand kosten in der Automobilproduktion durchschnittlich 100000 EUR [1]. Nicht in jeder Branche sind die finanziellen Auswirkungen von Produktionsausfällen so gravierend. Doch um unnötig hohe Kosten durch unvorhergesehene Stillstände in der Serienproduktion zu vermeiden, gilt für alle Verantwortlichen: Sie müssen Maschinen und Anlagen warten, bevor kritische Komponenten versagen. Als Instandhaltungsstrategie der Wahl hat sich die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) bereits in einigen Branchen etabliert und zeigt große Potenziale im Kontext von Industrie 4.0 auf.

Aus diesem Grund hat die Abteilung Unternehmensentwicklung des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit Beratern der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH sowie Serienproduzenten und Werkzeugbaubetrieben einen Leitfaden entwickelt. Dieser soll Unternehmen dazu befähigen, eigenständig vorausschauende Wartungssysteme zu entwickeln [2].

### Die Ausgangssituation

In der industriellen Praxis können Stillstände in der Serienproduktion von Kunststoffteilen zumeist nicht vorhergesagt werden, weil Prozess- und Werkzeugwissen nicht gebündelt vorliegen.



**Bild 1.** Der Leitfaden zur Entwicklung von Predictive-Maintenance-Lösungen unterteilt sich in die drei Phasen Analyse, Gestaltung und Umsetzung Quelle: WZL; Grafik: © Hanser

Sowohl in Bezug auf den Prozess als auch auf die Qualität der Kunststoffprodukte nehmen die verwendeten Spritzgießwerkzeuge eine Schlüsselrolle ein. Damit fungiert der Werkzeug- und Formenbau als Befähiger der Serienproduktion, wobei Spritzgießwerkzeuge mit einem Anteil von 56% aller in Deutschland hergestellten Werkzeuge die bedeutendste Werkzeugkategorie darstellen [3].

Oftmals verfügen Serienproduzenten über wichtige Prozessinformationen, je-

doch über wenig Wissen, wie stark ihre Werkzeuge während der Produktion beansprucht werden. Werkzeugbaubetriebe hingegen verfügen über ein breites Werkzeugwissen, erhalten jedoch selten Zugang zu Prozessinformationen, die eine Grundvoraussetzung zur Anwendung von Predictive-Maintenance-Maßnahmen darstellen.

Aus diesem Grund ist die enge und partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Serienproduzent und Werkzeug-

baubetrieb für die Anwendung einer vorausschauenden Wartung unabdingbar. Hierdurch lassen sich Produktivitätsgewinne und beiderseitige Wettbewerbsvorteile durch eine enge Kooperation und Wissensteilung erzielen.

### Aufbau und Ziel des Leitfadens

Die Entwicklung vorausschauender Wartungssysteme ist insbesondere für solche Spritzgießunternehmen und ihre Werkzeugbaupartner interessant, die wiederholt werkzeugbedingte Ausfälle in ihrer Serienproduktion durch unvorhergesehene Störeinflüsse verzeichnen. Vorausschauende Wartung kann diesen Unternehmen helfen, Störfälle wie Werkzeugversagen zu prognostizieren und darauf basierend konkrete Maßnahmen abzuleiten. Für Werkzeugbaubetriebe ergibt sich dadurch die Chance, ihr bestehendes Dienstleistungsportfolio um Predictive-Maintenance-Lösungen zu erweitern, um den Kundennutzen über den gesamten Lebenszyklus des Werkzeugs zu steigern und zusätzliche Geschäftsfelder zu erschließen.

Die Entwicklung derartiger Lösungen in Zusammenarbeit zwischen Serienproduzenten und Werkzeugbaubetrieben bedarf mehrerer iterativer Schritte, die je nach Reifegrad bestehender Vorarbeiten auch übersprungen oder vereinfacht ausgeführt werden können. Der im Leitfaden beschriebene generische Prozess stellt in drei Phasen mit insgesamt sechs Schritten systematisch die Entwicklung von Predictive-Maintenance-Lösungen dar (Bild 1).

In der Analysephase werden zunächst alle relevanten Voraussetzungen und Anforderungen an die vorausschauende Wartung aufgenommen. In der Gestaltungsphase werden werkzeug-, infrastruktur- und dienstleistungsseitige Lösungen entwickelt. Abschließend geht es in der Umsetzungsphase um die Inbetriebnahme, das Anlernen von Algorithmen sowie die Definition von Interaktionspunkten und Workflows. Auf die einzelnen Schritte wird im Folgenden genauer eingegangen.

### Analysephase: Definition der Anforderungen

In der Analysephase wird zunächst der Betrachtungsbereich festgelegt, indem

relevante Produktionsprozesse und Werkzeuge identifiziert werden. Predictive-Maintenance-Lösungen eignen sich naturgemäß besonders für kostenintensive Produkte, die in hoher Stückzahl gefertigt werden und bei denen Werkzeugfehler bzw. dadurch bedingte Bauteilfehler zu kostspieligen Produktionsausfällen oder Nacharbeiten führen.

Diese Kriterien sollten daher sowohl bei der Prozess- und Werkzeugidentifikation als auch bei der anschließenden Identifikation der auftretenden Werkzeug- und Bauteilfehler berücksichtigt werden. Insbesondere Fehler, die hohe finanzielle Auswirkungen auf die Lebenszykluskosten des Werkzeugs haben, ermöglichen ein großes Einsparpotenzial und sollten genauer analysiert werden.

Diesem Auswahlprozess inklusive Fehlerdefinition folgt die Vorbereitung der Prognosesystematik. Zuerst gilt es, die ganzheitlichen Wirkzusammenhänge zwischen Fehlern und den zugehörigen Instandhaltungsmaßnahmen aufzunehmen, um ein detailliertes Verständnis von Prozess und Werkzeug zu erzeugen (Bild 2). Hierbei werden jedem Fehlerbild bestimmte Ausprägungen, relevante Messwerte, Sensoren zur Erfassung dieser Messwerte, Schadensursachen und daraus folgende Maßnahmen zugeordnet.

Anschließend werden, aufbauend auf den ermittelten Wirkzusammenhängen, geeignete Eingriffs- und Warngrenzen für die relevanten Prozessparameter definiert. Diese müssen für alle zuvor definierten Messgrößen sinnvoll festgelegt werden und sind für die spätere Zustandsüberwachung und Prognose zukünftiger Prozesszustände erforderlich.

### Gestaltungsphase: Konzepte, Sensorik und digitale Infrastruktur

In der Gestaltungsphase wird die Wartungslösung konkretisiert und ein Dienstleistungskonzept zwischen Serienproduzent und Werkzeugbaubetrieb erarbeitet. Hierzu werden zunächst die Bedürfnisse beider Seiten identifiziert und priorisiert. Anhand dieser Aufstellung werden konkrete direkte und indirekte Dienstleistungen entwickelt und deren Relevanz sowohl für den Kunststoffverarbeiter als auch für den Formenbauer bewertet.

Im nächsten Schritt geht es darum, die geeignete Sensorik auszuwählen und zu integrieren. Art und Anzahl der Sen-

soren lassen sich aus der Verknüpfung von Prozessparametern mit konkret auftretenden Fehlern ermitteln. Hierfür werden jeweils passende Sensoren und deren Positionen am Werkzeug identifiziert. Zur Datenweiterleitung wird ein sogenannter IoT-Gateway benötigt. Dieser stellt eine zentrale Geräteeinheit dar, die Datenströme unterschiedlicher Sensoren und Sensortypen bündelt, vorverarbeitet und zur Speicherung in eine Cloud oder auf einen zentralen Kunden-server weiterleitet. »

## Die Autoren

**Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Boos, MBA**, ist geschäftsführender Oberingenieur des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen und Geschäftsführer der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH. **Dr.-Ing. Christoph Kelzenberg** ist Oberingenieur der Abteilung Unternehmensentwicklung des Lehrstuhls für Produktionssystematik am WZL.

**Jens Helbig, M.Sc.**, ist Leiter der Gruppe Wertschöpfungsmanagement in derselben Abteilung.

**Christoph Frey, M.Sc.** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe Wertschöpfungsmanagement in derselben Abteilung.

Der detaillierte Leitfaden und die Ergebnisse der Studie sind kostenlos auf der Webseite des WZL zum Download abrufbar:

» [www.wzl.rwth-aachen.de/cms/WZL/Forschung/Forschungsumfeld/Forschungsprojekte/Projekte/~cxdqm/WerkPriMa/](http://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/WZL/Forschung/Forschungsumfeld/Forschungsprojekte/Projekte/~cxdqm/WerkPriMa/)

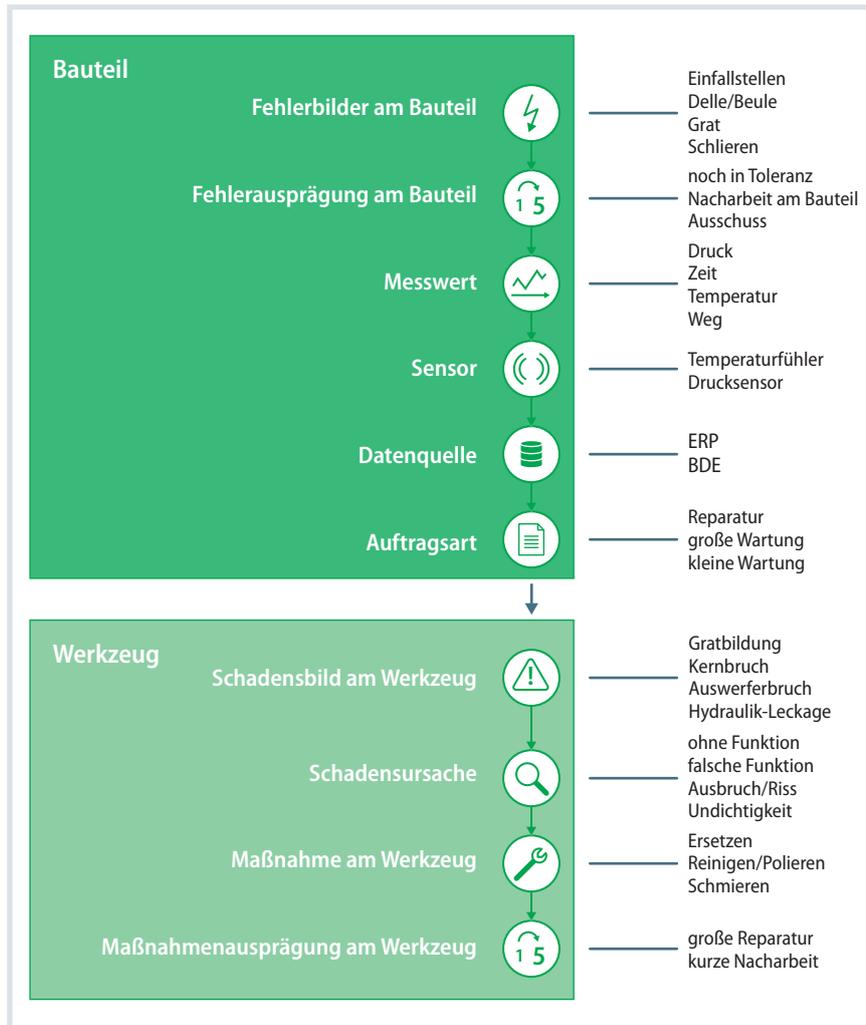
oder mit diesem QR-Code:



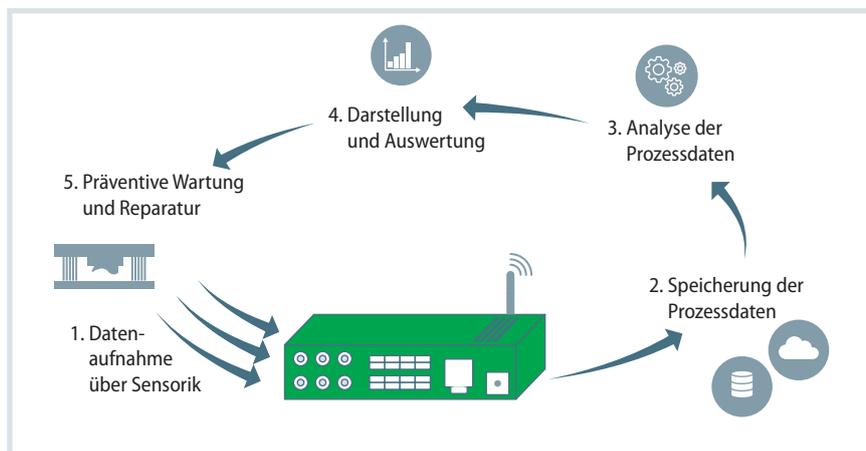
## Service

### Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-08](http://www.kunststoffe.de/2020-08)



**Bild 2.** Durch ein systematisches Vorgehen, hier am Beispiel der Spritzgießproduktion, kann von Fehlerbildern am Bauteil auf Schadensbilder am Werkzeug und entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen geschlossen werden. Quelle: WZL; Grafik: © Hanser



**Bild 3.** Durch die Prozessüberwachung werden aus gesammelten Sensordaten präventive Wartungen und Reparaturen prognostiziert. Quelle: WZL; Grafik: © Hanser

Zur Analyse und Nutzung müssen die Daten in ein passendes Datenmodell überführt werden, das alle zu beschreibenden und verarbeitenden Daten sowie deren Beziehungen untereinander formal

wiedergibt. Parallel zur Sensorintegration und Datenerfassung sind die Verantwortlichen damit befasst, die Anforderungen an eine übergreifende Datenplattform aufzunehmen sowie entsprechende Teil-

ziele für die technische Umsetzung festzulegen und in einem Lastenheft zu formulieren. Im Anschluss kann die Entwicklung der Datenplattform, die eine Visualisierung der Analyseergebnisse für Serienproduzenten und Werkzeugbaubetriebe ermöglicht, beginnen (**Bild 3**).

### Umsetzungsphase: Training des Algorithmus

Die letzte Phase umfasst die Auswahl und das Training eines fähigen Algorithmus. Das Ziel besteht darin, Fehler, also Verletzungen der vorab definierten Eingriffsgrenzen vorherzusagen, um präventiv Korrekturmaßnahmen einleiten zu können (**Bild 4**). Insbesondere das Training des Algorithmus ist ein zentraler Schritt, um eine hohe Prognosequalität und damit die gewünschte Funktionalität der Predictive-Maintenance-Lösung sicherzustellen.

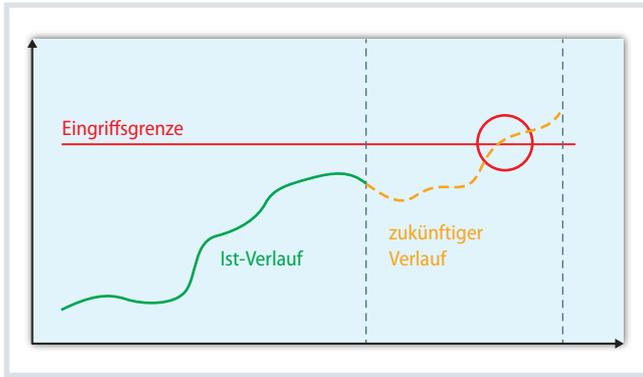
Für das Training des Algorithmus eignet sich der Ansatz des Supervised Learning, da die Trainingsdaten neben den Input- auch die dazugehörigen Output-Werte umfassen und somit prädestiniert für Prognoseaufgaben sind. Im Rahmen des Trainings erlernt der Algorithmus die Zusammenhänge zwischen auftretenden Fehlern und den erfassten Prozessparametern auf Basis von Vergangenheitsdaten. Er wird somit dazu befähigt, die Wirkzusammenhänge zu reproduzieren, um auftretende Fehler und folglich potenzielle Instandhaltungsfälle auch bei neuen Datensätzen prognostizieren zu können.

### Ergebnis: Verbesserungen in allen maßgeblichen Bereichen

Die im Leitfaden beschriebenen Schritte zur Entwicklung vorausschauender Wartungssysteme wurden in Zusammenarbeit mit Serienproduzenten und Werkzeugbaubetrieben validiert. Für beide Gruppen konnten Verbesserungen innerhalb der vier Zieldimensionen

- Wirtschaftlichkeit,
- Strategie,
- Qualität und
- Zeit

erzielt werden (**Bild 5**). Auf Basis konkreter Predictive-Maintenance-Anwendungen wurden konkrete Dienstleistungen wie etwa die Vorhersage von Ausfällen inklusive Wartung oder Instandsetzung ausge-



**Bild 4.** Ein Algorithmus berechnet die sich anbahnende Verletzung vorab definierter Eingriffsgrenzen, damit sich präventiv Korrekturmaßnahmen einleiten lassen. Quelle: WZL; Grafik: © Hanser

		Strategie		Wirtschaftlichkeit		Qualität		Zeit	
		Ausfallrisiko	Anzahl Instandhaltungsaufträge	Instandhaltungskosten	Umsatz	Abschuss	Reklamationsquote	Werkzeugbed. Stillstandszeit	Durchlaufzeit Instandhaltungsmaßnahmen
		↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓
direkte DL	Änderungsrichtung der Kennzahlen								
	Vorhersage von Ausfällen inkl. Wartung oder Instandsetzung	+	+	+	+	+	+	+	+
	verbesserte Koordination des Instandhaltungsprozesses	○	+	+	○	+	+	+	+
	Optimierung des Produktionsprozesses	+	+	+	+	○	+	○	○
	Optimierung des Werkzeugs	+	+	○	+	○	○	○	○
indirekte DL	Steigerung der Prozesstransparenz	○	○	+	○	+	+	+	+
	Generierung von neuem Werkzeugwissen	○	+	○	○	○	+	○	○

**Bild 5.** Die entwickelten direkten und indirekten Dienstleistungen (DL) haben größtenteils einen positiven Einfluss auf die Kennzahlen innerhalb der vier Zieldimensionen. Quelle: WZL; Grafik: © Hanser

staltet. Die Dienstleistung hatte dabei auf alle vier Zieldimensionen einen positiven Einfluss.

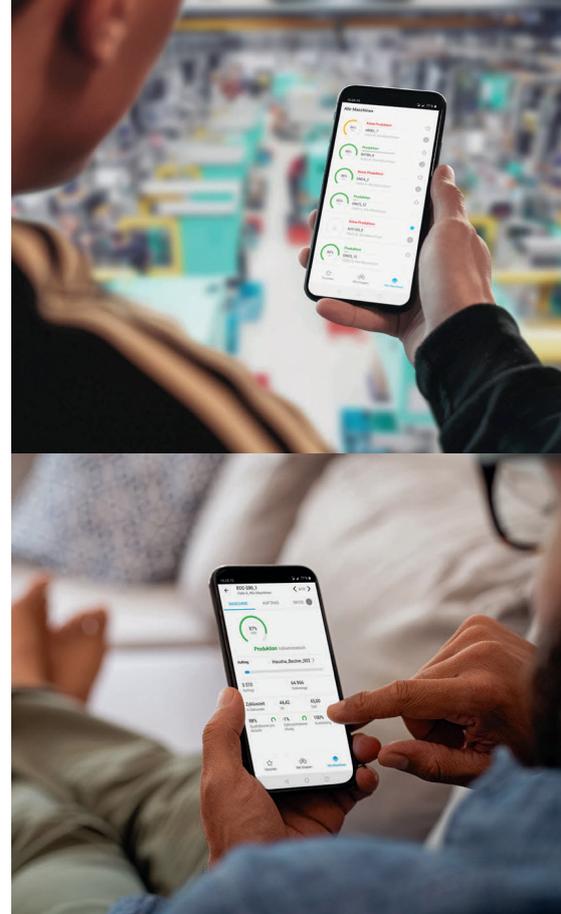
Generell bestehen die Vorteile für den Serienproduzenten als Dienstleistungsempfänger vor allem in reduzierten Instandhaltungskosten sowie einer verbesserten Produktionsplanung und Prozessoptimierung. Der Werkzeugbaubetrieb profitiert als Dienstleistungsanbieter von der Ausweitung seines Angebots und einer damit verbundenen Wettbewerbsdifferenzierung.

In der Testphase wurde zudem eine Predictive-Maintenance-Plattform entwickelt, die Produktions- und Sensordaten in Verbindung mit Warnmeldungen anschaulich visualisiert. Die Plattform informiert in verschiedenen Ansichten über den Zustand der Produktionsmaschinen und Werkzeuge und erlaubt die Vorhersage notwendiger Eingriffe in das Produktionssystem anhand der erhobenen Daten. Neben der Anzeige von Informationen und Warnmeldungen ist es außerdem

möglich, ausgewählte Daten selbst zu analysieren.

**Fazit**

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass der Einsatz von Predictive-Maintenance-Lösungen große Potenziale bietet, um die Maschinenverfügbarkeit in der Spritzgießproduktion zu erhöhen. Dies gelingt durch eine signifikante Reduktion ungeplanter Ausfälle, während gleichzeitig die Instandhaltungskosten sinken, weil die Maßnahmen sich besser (zustandsbasiert) planen lassen. Durch entsprechende Dienstleistungen haben Werkzeugbaubetriebe die Möglichkeit, ihr Angebot auszuweiten, sich wirksam vom Wettbewerb zu differenzieren und ihre Profitabilität zu steigern. Durch den kooperativen Aufbau vorausschauender Wartungslösungen können folglich Serienproduzent und Werkzeugbaubetrieb gleichermaßen von entsprechenden Dienstleistungskonzepten profitieren. ■



## TIG shopfloor app

„Durch den Einsatz von TIG authentig konnten wir eine Digitalisierung und Modernisierung unserer Prozesse erreichen. Mittels der TIG shopfloor app können wir nun die wesentlichen Produktionsinformationen unseren Mitarbeitern auch mobil zur Verfügung stellen. Somit können wir die Effizienz auch bei Abwesenheit und/oder bei Minimalbetrieb, wie zum Beispiel bei sogenannten „Geisterschichten“, maximieren. Unsere Mitarbeiter sind froh, dass sie nun unkompliziert auf ihren Smartphones die benötigten Informationen abrufen können. Aufgrund der Funktionalität und der einfachen Handhabung war die Akzeptanz unmittelbar gegeben.“  
– Ing. Semih Corbaci, BA (COO MONTFORT Kunststofftechnik)

Finden Sie mehr Informationen auf [www.tig-mes.com](http://www.tig-mes.com)

Holen Sie sich jetzt die TIG shopfloor app

**TIG** efficiency guaranteed

Technische Informationssysteme GmbH  
Lehenweg 2 | 6830 Rankweil | Austria  
+43 (0) 5522 41 693-0 | office@tig.at  
www.tig-mes.com