



Retrofit

Digitale Aufrüstung alter Maschinen

Mittelstand-
Digital 

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren Hannover und Hamburg werden vom Bundeswirtschaftsministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Sie sind Teil der Förderinitiative „Mittelstand 4.0 – Digitale Produktions- und Arbeitsprozesse“ im Rahmen des Förderschwerpunkts „Mittelstand-Digital – Strategien zur digitalen Transformation der Unternehmensprozesse“. **Weitere Informationen:** www.mittelstand-digital.de
Schulungen, Workshops, Informationsveranstaltungen, Firmengespräche und Umsetzungsprojekte – mit diesen Angeboten machen die Zentren kleine und mittlere Unternehmen sowie Handwerksbetriebe fit für die digitale Zukunft.

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,
die Aufrüstung alter Maschinen, das Retrofitting ist insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen seit jeher ein probates Mittel, um die Nutzungsdauer von Bestandsanlagen zu verlängern oder die Leistungsfähigkeit von Maschinen zu erhöhen. Diese Aufrüstung ist in der Regel kostengünstiger als eine Neuanschaffung. Bisher nutzten Unternehmen Retrofitting vor allen Dingen für eine mechanische Aufrüstung von Maschinen und Anlagen.

Ganz neue Möglichkeiten eröffnen sich mit der Digitalisierung. Die Ermittlung von Maschinen- und Prozessdaten können beispielsweise für die Planung und Steuerung der Fertigung, für die Prozessoptimierung und -kontrolle und für die Instandhaltung verwendet werden. Vor diesem Hintergrund ist Digitalisierung eine grundlegende Maßnahme für Unternehmen, um im nationalen und internationalen Wettbewerb bestehen zu können.

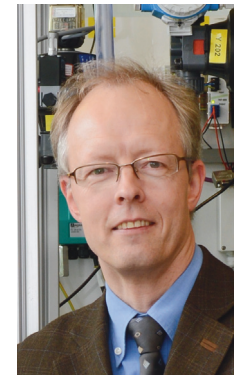
Dieser Leitfaden beschreibt Digitalisierungsschritte für kleine und mittlere Unternehmen und zeigt anhand von drei Projekten exemplarisch realisierte Maßnahmen der Digitalisierung von Bestandsanlagen und den Nutzen für die Firmen.




Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena
Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover



Professor Berend Denkena



Professor Alexander Fay



Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay
Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hamburg

Einführung

Das Thema Digitalisierung beschäftigt momentan viele Unternehmen der deutschen Industrie. Gerade für Unternehmern kleinerer bis mittlerer Größe stellt sich hier schnell die Frage, wie sie dieses Thema in ihrem Betrieb angehen können. Nach einer Studie der staatlichen Förderbank Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) in 2016 hat sich erst knapp ein Fünftel des Mittelstandes im produzierenden Gewerbe auf „Industrie 4.0“, als die Vernetzung ihrer Produktion, umgestellt. Sechs von zehn Firmen geben als Hemmnis unter anderem zu hohe Investitionskosten an. Kleinere Unternehmen schreckten oft vor der Digitalisierung zurück aus Sorge, teure moderne Maschinen anschaffen zu müssen. Vernetzte Maschinen und die dynamische Berechnung von Produktionskennzahlen in Echtzeit scheint für viele kleine und mittlere Unternehmen nicht realisierbar zu sein.

Es gibt jedoch auch kostengünstige Lösungen für die Digitalisierung. Unternehmen mit älteren Maschinen und Anlagen müssen dafür nicht ihren Maschinenpark ersetzen. Digitalisierung kann auf Basis bestehender Maschinen und Anlagen erfolgen. Eine Möglichkeit, diese Maschinen in ein Fertigungssteuerungssystem zu integrieren, ist die nachträgliche Ausstattung der Maschine oder Anlage mit neuer Sensorik sowie geeigneter Kommunikationstechnologien. Dies nennt man Retrofit oder die digitale Aufrüstung von Maschinen.



Beispiel in der Generalfabrik des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Hannover: digital eingebundene 35 Jahre alte Drehmaschine

Aus gutem Grund: Anpassung alter Maschinen

Maschinen und Anlagen werden häufig für einen bestimmten Zweck mit definierten Anforderungen beschafft, wie beispielsweise Wasserstrahlanlagen bei der Herstellung von Gummidichtungen. Im Laufe des Lebenszyklus einer Maschine können sich die Anforderungen jedoch ändern. Um eine Neubeschaffung von Maschinen zu vermeiden, müssen die Maschinen dann angepasst oder erweitert werden. Die Gründe dafür können vielfältig sein:

- Erweiterung des Funktionsumfangs einer Maschine
- Anpassungen und Erweiterungen von Abfolgen im Produktions- und Materialflussprozess innerhalb der Maschine
- Erhöhung der technischen Leistungsfähigkeit
- Nachrüstung von bestehenden Komponenten zur Steigerung wirtschaftlicher Parameter (bspw. die Ausbringungsmenge pro Zeit)

Die zunehmende Individualisierung von Produkten stellt nicht nur immer neue Anforderungen an die eigentlichen Maschinen, sondern auch immer komplexere Anforderungen an die Produktionsplanung und -steuerung. Somit kommen neben den „klassischen“ Gründen für eine Aufrüstung bestehender Maschinen vermehrt auch neue Anforderungen im Rahmen der Digitalisierung auf. Zu diesen gehört unter anderem das Erweitern der Maschinen um neue digitale Erfassungs- und Überwachungsfunktionen.



Wasserstrahlanlage zur Herstellung von Gummidichtungen

Mit Hilfe dieser digitalen Aufrüstung können automatisiert Informations- und Datenflüsse effizient in die Produktionsplanung und -steuerung eingebunden sowie verschiedene Produktionskennzahlen in Echtzeit ermittelt werden. Anhand der in Echtzeit ermittelten Kennzahlen ist es dann möglich, Veränderungen im Produktionsumfeld schnell zu erkennen und direkt darauf zu reagieren.

Eine wichtige Voraussetzung für die Echtzeitermittlung von Produktionskennzahlen ist, dass relevante Signale von Maschinen erfasst und ausgewertet werden können. Moderne Maschinen bieten meist bereits Funktionen zur Erfassung und Kommunikation von maschineninternen Signalen. Alt- bzw. Bestandsmaschinen häufig jedoch nicht. In diesem Fall kann externe Sensorik eingesetzt werden, um die Daten der Maschinen abzugreifen.

Die digitale Aufrüstung kann dabei punktuell erfolgen. Eine Vollautomatisierung des Produktionsprozesses ist nicht zwingend Thema einer Aufrüstung. Vielmehr gilt es sich Gedanken zu machen, welche Aspekte des Produktionsprozesses digital abgebildet werden sollen.

Ein Vorgehen, wie dies systematisch analysiert werden kann, welche Daten wie abgegriffen werden könnten, wird im Folgenden in diesem Leitfaden beschrieben.

Vier Fragen zur digitalen Aufrüstung

Um Maschinen zielgerichtet digital aufzurüsten, ist eine vorherige grundlegende Analyse sinnvoll. Dazu stellt sich die Frage, welche Daten benötigt werden, um den Produktionsprozess zu verbessern, und wie man diese Daten erhalten kann. Zudem ist zu überprüfen, welche Daten die vorhandene Maschine bereits liefert und ob damit die benötigten Maschinendaten bereits verfügbar sind. Im Folgenden wird hierzu ein systematisches Vorgehen vorgestellt.

Folgende Leitfragen sind dabei zu berücksichtigen:

- Was sind die Ziele der digitalen Aufrüstung?
- Welche Informationen sind zur Erreichung der Ziele erforderlich?
- Welche Signale sind für die zu erfassenden Informationen notwendig?
- Wie können die Signale erfasst oder ausgelesen werden?



Was sind die Ziele der digitalen Aufrüstung?

Bei der digitalen Aufrüstung steht der zu erzielende Nutzen stets im Vordergrund der Maßnahme. Häufig geht es dabei um die Schaffung von Transparenz oder die Steigerung der Effektivität und Flexibilität in der Produktion. Diese Ziele können beispielsweise mit der Herstellung der direkten Kommunikation zwischen der Maschine und einem Leitsystem der Produktionssteuerung, mit Hilfe einer Maschinen- oder Prozessüberwachung oder etwa über die Ermittlung von Kennzahlen für die Produktionsplanung erreicht werden.

Welche Informationen sind zur Erreichung der Ziele erforderlich?

Wichtige Kennzahlen sind beispielsweise die Bearbeitungszeit von Aufträgen, die Auslastung oder der Energieverbrauch einer Maschine. Anhand solcher Information lassen sich Rückschlüsse ziehen, ob die Maschine gerade einen Auftrag bearbeitet, in welchem Bearbeitungsprozess sie sich befindet oder ob eine Störung vorliegt. Wenn diese Informationen in Echtzeit und automatisiert vorliegen, kann bei Bedarf schnell auf etwaige Störungen reagiert oder bisher nicht ausgeschöpfte Kapazitäten können besser genutzt werden.

Zur Steigerung der Effektivität und Flexibilität sind hingegen Prozessparameter oder das Bearbeitungsprogramm zur Herstellung einer bestimmten Produktvariante relevant. Informationen zwischen Maschine und Produktionsleitsystem müssen direkt miteinander ausgetauscht werden, um etwa eine automatische Parametrierung zu ermöglichen. So können Fehler vermieden und beispielsweise die Zeit für die manuelle Programmauswahl reduziert werden.

Welche Signale sind für die zu erfassenden Informationen notwendig?

Die meisten Informationen, etwa zur Ermittlung von Kennzahlen, lassen sich in der Regel nicht direkt erfassen, sondern müssen aus verschiedenen Signalen zusammengesetzt werden. Für die Bearbeitungszeit eines Auftrages ist zum Beispiel die Zeitdifferenz zwischen Ankunft des Produktes an der Maschine und dem Ende der Bearbeitung erforderlich. Sollen Informationen über die Bearbeitung eines Auftrages oder über den Bearbeitungsprozess gewonnen werden, ist hingegen der Programmname, der Programm- oder Maschinenstatus – wie etwa in Bearbeitung oder Stillstand – von Bedeutung.

Wie können die Signale erfasst oder ausgelesen werden?

Signale können dabei grundsätzlich aus der Steuerung der Maschine ausgelesen oder mit Hilfe externer Sensorik erfasst werden. Hierzu muss analysiert werden, ob bereits Schnittstellen zur Erfassung und Kommunikation der benötigten Signale bestehen. Ist dies nicht der Fall oder sind die Signale nicht ausreichend, können zusätzliche Erfassungsmöglichkeiten über ein geeignetes Sensorkonzept oder über die Nachrüstung von Schnittstellen geschaffen werden.

In den folgenden Praxisbeispielen zeigen wir exemplarisch realisierte Maßnahmen der Digitalisierung von Bestandsanlagen und den Nutzen für die Firmen auf.

Von der Idee zur Umsetzung

Die Digitalisierung einer Maschine oder einer Anlage erfordert Fachkenntnisse aus unterschiedlichen Bereichen. Dieses Wissen - beispielweise über den Produktionsprozess, über Maschinendaten oder aus dem IT-Bereich – muss für eine gezielte Umsetzung von Digitalisierungsbestrebungen zusammengeführt werden.

„Wir schauen uns in den Unternehmen die Prozesse an, analysieren, welches Know-how für die Umsetzung eines Projekts bereits vorhanden ist und ob zusätzliches Wissen externer Experten benötigt wird,“ erläutert Dr.-Ing. Michael Rehe, Geschäftsführer des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Hannover. In den Umsetzungsprojekten mit dem Dichtungshersteller Rehm, Sennheiser und dem Motorenhersteller KS HUAYU haben die Experten des Zentrums unterstützt.

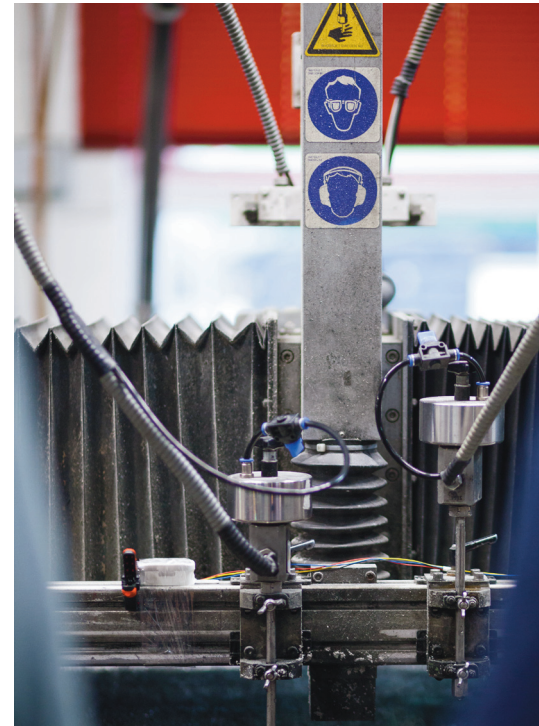


Externe Sensorik für alte Maschinen

Produktionskennzahlen aus alten Maschinenanlagen zu gewinnen, ist für kleine und mittlere Unternehmen vielfach eine große Herausforderung. Produktionskennzahlen bilden eine wesentliche Basis, um die Auslastung von Maschinen zu optimieren und die Produktion effektiv zu steuern.

Die Rehm Dichtungen Ehlers GmbH in Peine ist Hersteller für Flachdichtungen und artverwandter Produkte. Das Portfolio des Unternehmens reicht von der Herstellung von Graphitdichtungen über Flachdichtringe bis zu Flanschdichtungen und Dichtungsbändern. Das 1962 gegründete Unternehmen beschäftigt 77 Mitarbeiter am Standort.

Zwei Fertigungsmaschinen– einen Plotter und eine Wasserstrahlanlage – hat Rehm bereits mit Unterstützung der Firma OEEsmart an das Produktionsteilsystem anbinden können. Die Anbindung von zwei weiteren Wasserstrahlanlagen konnte bislang nicht realisiert werden. „Um einen Überblick über die Gesamtproduktion zu erhalten, ist es unabdingbar, Kennzahlen von diesen Maschinen zu bekommen. Sie sind unsere mit Abstand am stärksten ausgelasteten Maschinen,“ erläutert Sören Adam, Geschäftsführer der Rehm Dichtungen Ehlers GmbH. Die Daten dieser beiden Wasserstrahlanlagen lassen sich jedoch nicht aus der Steuerung auslesen.



Wasserstrahlkopf mit externer Sensorik

Bislang geben die Maschinenbediener den Maschinenzustand händisch an die Leitstandzentrale weiter. Ziel des Projektes mit dem Kompetenzzentrum Hannover ist, ein Sensorkonzept zu erarbeiten, auf deren Basis automatisiert Prozessinformationen gewonnen und für die Produktionsplanung und –steuerung herangezogen werden können. Der Maschinenbediener wird hierdurch von händischen Eingaben entlastet. Maschinenausfälle und deren Ursache werden genauer dargestellt und Fehler durch falsche (keine) Eingaben reduziert.

Der wirtschaftliche Nutzen für Rehm: Es lassen sich die Maschinenstundensätze deutlich präziser berechnen. Durch die verbesserte Kostenermittlung kann genauer ermittelt werden, wie die tatsächlichen Kosten der einzelnen Maschinen sind. Dieses bringt monetäre Vorteile mit sich und ermöglicht ein standardisiertes Berechnungsverfahren. Dadurch lassen sich die Preise für die Produkte des Unternehmens präziser und schneller kalkulieren, um im nationalen und internationalen Wettbewerb bestehen zu können.

Rehm-Geschäftsführer Sören Adam: „Die prognostizierte kurze Amortisationszeit im Projekt mit dem Kompetenzzentrum sind für KMU, wie wir es sind, von großer Bedeutung. Die vorgesehenen Maßnahmen im Projekt unterstützen uns, Arbeitsplätze bei uns zu erhalten und zu schaffen.“

Digitalisierungslösungen zum Projekt:

- Prozessinformationen über externes Sensorkonzept
- Transparenz in der Produktion
- Automatisierte Berechnung der Gesamtanlageneffektivität

Effiziente Variantenfertigung im Motorenbau

Für Zulieferer in der Automobilindustrie stellt die Variantenvielfalt eine große Herausforderung dar. Die Digitalisierung ermöglicht die Fertigung in Losgröße 1 und minimiert die Fehleranfälligkeit.

Die KS HUAYU Bearbeitungs GmbH fertigt Motoren für die Automobilindustrie. Der Automobilzulieferer ist ein Nachfolgeunternehmen des familiengeführten Betriebs Hackerodt. Am Standort Langenhagen bei Hannover mit rund 140 Mitarbeitern werden Zylinderkurbelgehäuse und Zylinderköpfe in Klein- und Mittelserie sowie unterschiedlichste Prototypenbauteile gefertigt und montiert. Kunden sind alle gängigen OEMs (Porsche, Audi, Volvo, etc.).

Die ständig wechselnden Varianten in der Produktion führen zu erheblichen Arbeitsbelastungen der Maschinenbediener im Unternehmen. Die Steuerungen der verwendeten Werkzeugmaschinen arbeiten mit NC-Codes. Diese werden auf Servern verwaltet und gespeichert. Soll ein neues Bauteil gefertigt werden, muss der Maschinenbediener das korrekte Programm in der richtigen Version aufrufen.

Bei einer hohen Variantenvielfalt, wie sie etwa bei einer Fertigung in Losgröße 1 entsteht, müssen zahlreiche Programme nacheinander aufgerufen werden. Die händische Programmwahl bedeutet nicht nur einen erhöhten Aufwand für die Mitarbeiter, auch die Fehleranfälligkeit steigt in zunehmendem Maße.



Bauteilmarkierung für automatische Programmwahl

„Um am Markt bestehen zu können, ist es notwendig, die Fehlerquote zu verringern,“ sagt Dr.-Ing. Dennis Nesper, Leiter der Abteilung Projektmanagement im Unternehmen. „Das Kompetenzzentrum hat uns Verbesserungsmöglichkeiten durch eine Digitalisierung aufgezeigt und mit seinem Know-how unterstützt.“

Gemeinsam mit den Mitarbeitern von KS und dem Anlagenhersteller Grob stellten die Zentrumsmitarbeiter die Kommunikation zwischen einem Bearbeitungszentrum und dem Fertigungsleitsystem her. Jedoch nicht nur die Kommunikation zwischen Leitsystem und Maschine musste hergestellt werden, um eine automatische Programmwahl zu ermöglichen, sondern auch die Informationen über das Werkstück und für die Maschinenbediener: „Die größte Herausforderung im Projekt dabei war, die Informationen aus dem Leitsystem, Informationen zum Werkstück und aus der Maschine sowie von den Mitarbeitern zusammenzuführen und abzugleichen,“ erläutert Zentrumsmitarbeiter Christian Wagener.



Zur Herstellung der Kommunikation Anlagenhersteller wurde zusätzliche Hardware verbaut. Diese übersetzt nun zwischen dem Leitsystem mit NC-Codeverwaltung, den Terminals zur Werkstückidentifikation und der Maschine. Der Maschinenbediener wird kontinuierlich über den Produktionsprozess auf dem Laufenden gehalten. Den Abgleich zwischen Fertigungsleitsystem, Werkstück und Maschine setzt der Maschinenhersteller Grob nun mit den Mitarbeitern von KS um. Eine automatische Bautei-

Identifikation in der Maschine und eine Kommunikation mit dem Leitsystem bilden die Basis für die eine automatische NC-Programmwahl zur Fertigung des jeweiligen Werkstücks. Der Bediener muss nicht mehr manuell eingreifen, Fehler werden minimiert und eine effiziente Fertigung mit hoher Variantenvielfalt ermöglicht.

Zentrumsmitarbeiter Wagener: „Die gemeinsam mit den Mitarbeitern der KS Huayu Bearbeitungs GmbH und dem Anlagenhersteller Grob entwickelte Lösung, beinhaltet nicht nur den automatischen Programmaufruf, sondern es wird zugleich auch der Versionsstand des Programms überprüft und mit dem aufgelegten Werkstück verglichen.“

KS-Projektleiter Dr.-Ing. Dennis Nesper: „Das Kompetenzzentrum hat uns hervorragend unterstützt. Die Projektlösung entlastet unsere Mitarbeiter und erhöht unsere Effizienz. Wir bewältigen die hohe Variantenvielfalt jetzt mit wesentlich geringerem Aufwand.“

Die Digitalisierungslösungen zum Projekt:

- Vertikale Integration zwischen Produktionsleitsystem und Maschine
- Automatische Bauteilidentifikation
- Implementierung in RAMI 4.0 möglich

RAMI 4.0 (Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0)
3D-Landkarte für Industrie 4.0-Lösungen, gegliedert in Digitalisierungspaketen, die schrittweise realisiert werden könnten.

Maschinendatenerfassung zur Produktionsplanung und -steuerung

Eine effiziente und genaue Produktionsplanung und -steuerung erfordern Transparenz in der Fertigung und dynamische Berechnungen von Produktionskennzahlen in Echtzeit. Die Erfassung maschineninterner Signale ist bei modernen Bearbeitungszentren bereits möglich. Vielfach fehlt jedoch eine Anbindung der Maschinen an das Fertigungsleitsystem. So müssen Kennzahlen manuell berechnet werden. Dies ist zeitaufwendig, bindet Personal und die Kennzahlen sind bei laufender Produktion nicht aktuell.

Sennheiser mit Sitz in der Wedemark bei Hannover ist einer der weltweit führenden Hersteller von Kopfhörern, Mikrofonen und drahtloser Übertragungstechnik. Seit 2013 leiten Daniel Sennheiser und Dr. Andreas Sennheiser das Unternehmen in der dritten Generation. Am Standort in der Wedemark sind rund 1200 Mitarbeiter beschäftigt.

In der Fertigung der akustischen Komponenten bei Sennheiser kommen Drehmaschinen zum Einsatz. Dabei konnten bislang maschineninterne Signale nicht für die Produktionsplanung und -steuerung genutzt werden.

„Unsere Maschinenbediener meldeten den Stillstand einer Maschine und die Ursache dafür,“ erläutert Maik Mühlberg, Programm-Manager Industry 4.0 bei Sennheiser. Mühlberg: „Dies bedeutet, dass die Statusmeldungen das Shopfloormanagement nicht in Echtzeit erreichen. Unsere



Aufgerüstet: alte Siemenssteuerung für die Nutzung maschineninterner Signale

Produktionsplanung und -steuerung basiert also nicht auf aktuelle Kennzahlen unserer Fertigung. Die Berechnung der Zahlen führen wir bislang manuell durch.“

Im Rahmen des Projektes konnte eine Kennzahlenberechnung und -darstellung auf Basis von Maschinendaten in Echtzeit realisiert werden. Christian Wagener vom Kompetenzzentrum Hannover: „Wir konnten die maschineninternen Signale von außen lesbar machen und in eine Datenbank schreiben. Mit diesen Datensätzen lassen sich jetzt die Produktionskennzahlen dynamisch in Echtzeit berechnen.“ Die automatische Berechnung der Kennzahlen wird für die Produktionssteuerung herangezogen.

Sennheiser-Mitarbeiter Mühlberg: „Uns war darüber hinaus wichtig, die Kennzahlen den Mitarbeitern einfach zugänglich zu machen.“ Die Visualisierung der Zahlen für die Mitarbeiter setzt Sennheiser in Eigenregie um, um das Shopfloormanagement zu unterstützen und Transparenz in der Fertigung zu schaffen.

Maik Mühlberg, Programm-Manager Industry 4.0 bei Sennheiser: „Die Ergebnisse sind herausragend und bilden die Grundlage für die vollständig vernetzte Produktion der Zukunft.“

Die Digitalisierungslösungen zum Projekt:

- Ereignisdiskrete, nachrichtenbasierte Kommunikation über MQTT-Maschine
- Realisierung einer Maschine-zu-Maschine-Kommunikation
- Einfache Implementierung in weitere Protokolle möglich (bspw. RAMI 4.0)

MQTT

(Message Queuing Telemetry Transport)
Offenes Nachrichtenprotokoll für Maschine-zu-Maschine-Kommunikation

Angebote der Kompetenzzentren und Agenturen zum Thema Retrofit

Zentren	Demonstratoren	Workshops/ Schulungen	Tagungen/ Vorträge	Sonstiges	Weblink
Chemnitz				Umsetzung „Retrofit 4.0“	www.betrieb-machen.de
Darmstadt					www.mit40.de
Dortmund					www.digital-in-nrw.de
Hamburg					www.kompetenzzentrum-hamburg.digital
Hannover				Roadshowbus, Umsetzung „Retrofit 4.0“, Firmengespräche	www.mitunsdigital.de
Ilmenau					www.kompetenzzentrum-ilmenau.digital
Kaiserslautern					www.kompetenzzentrum-kaiserslautern.digital
Agentur Handel				Leitfaden „Implementierung digitaler Technologien am Point of Sale“	www.handel-mittelstand.digital

Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
der Leibniz Universität Hannover
Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover
An der Universität 2, 30823 Garbsen

Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg
Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hamburg
Adolphsplatz 1, 20457 Hamburg

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay

Redaktion: Gerold Kuiper, M.A.
Presse- & Öffentlichkeitsarbeit
Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover
Tel.: +49 (0)511 762 18325
E-Mail: info@mitunsdigital.de

Bildnachweis
Bilder: Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
der Leibniz Universität Hannover
mit Ausnahme von
HSU Hamburg: S. 3 (Foto rechts), fotolia: S. 7



Mittelstand 4.0
Kompetenzzentrum
Hannover

mit uns digital!

Das Zentrum für Niedersachsen und Bremen



Mittelstand 4.0
Kompetenzzentrum
Hamburg

DIGITAL
▶ VORAUSS