

# Leitfaden Retrofit für Industrie 4.0

Neuer Nutzen mit vorhandenen Maschinen



in Kooperation mit

 **Fraunhofer**  
IOSB-INA

 **VDMA**

Forum Industrie 4.0

## Editorial



Hartmut Rauen

Innovationen, Lösungskompetenz und Spitzenqualität sind zentrale Merkmale unserer Branche. Und auch Industrie 4.0 steht genau hierfür. Die Schlüsselbegriffe sind Digitalisierung und Vernetzung. Informations- und Internet-technologien werden Schritt für Schritt in die Produkte und Prozesse der Unternehmen integriert.

Um im Zeitalter der Digitalisierung auch morgen noch erfolgreich sein zu können, gilt es die große Anzahl an Bestandsmaschinen der Betreiber, Hersteller und Komponentenzulieferer von Maschinen- und Anlagen in die Industrie 4.0-Welt einzubinden und fit für die Zukunft zu machen. Am besten möglichst schnell und zu möglichst geringen Kosten. Doch in den Produktionshallen stehen vielfach Maschinen, die nicht brandneu und daher nicht miteinander vernetzt sind. Die Bestandsmaschinen müssen in das industrielle Internet der Dinge eingebunden werden, ein digitaler Retrofit muss die vorhandenen Maschinen „futurefit“ machen. Doch sowohl die Aufrüstung der Bestandsmaschinen mit Sensoren als auch die Vernetzung zwischen den Maschinen und mit Systemen stellt die Unternehmen vor große Herausforderungen.

Vor diesem Hintergrund bietet der vorliegende Leitfaden Hilfestellung: potenzielle Anwender und Anbieter von Industrie 4.0-Retrofit-Lösungen sollen unterstützt werden, einen systematischen Einstieg in das Thema zu finden. In einem Stufenmodell werden die verschiedenen Ausprägungsgrade von Industrie 4.0-Retrofits

vorge stellt, um eine übersichtliche Orientierung über die Umsetzungsformen zu bieten. Anhand einer beispielhaften Infrastruktur wird herstellern neutral aufgezeigt, wie Sensoren angebunden und mit welchen Möglichkeiten die erzeugten Daten übertragen, gespeichert und genutzt werden können. Anschließend wird Schritt für Schritt eine systematische Vorgehensweise zur Durchführung eines Industrie 4.0-Retrofits aufgezeigt. Mit Hilfe einer Checkliste am Ende des Leitfadens kann der Bedarf für einen Industrie 4.0-Retrofit im eigenen Unternehmen ermittelt werden. Verschiedene Anwendungsbeispiele aus der produzierenden Industrie, Anlagenherstellern und Lösungsanbietern runden die praxisorientierte Vorgehensweise ab.

Der VDMA realisiert mit diesem Leitfaden einen weiteren Umsetzungsbaustein für die Praxis und erweitert seine erfolgreiche VDMA-Leitfaden-Serie. Darüber hinaus bietet der VDMA seinen Mitgliedern auch zu diesem Thema Möglichkeiten für weiteren Dialog und Erfahrungsaustausch.

Unser ausdrücklicher Dank gebührt Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite vom Fraunhofer-IOSB Institutsteil Industrielle Automation und seinen Mitarbeitern für die wissenschaftliche Aufbereitung des Leitfadens. Zudem gilt es, den beteiligten VDMA-Mitgliedern für ihr Engagement im projektbegleitenden Arbeitskreis zu danken.

Wir wünschen Ihnen eine spannende und inspirierende Lektüre.

### Hartmut Rauen

Stellvertretender VDMA-Hauptgeschäftsführer

# Inhaltsverzeichnis

- 1. Editorial
- 2. Inhalt
- 3. Vorwort
- 4. Management Summary
- 5. Einleitung und Zielsetzung
- 07 Anforderungen und Anwendungsfälle
- 10 Industrie 4.0-Retrofit-Stufenmodell
- 12 Industrie 4.0-Retrofit-Infrastruktur
- 16 Vorgehensweise bei einem Industrie 4.0-Retrofit
- 22 Auswirkungen und Risiken eines Industrie 4.0-Retrofits
- 25 Anwendungsbeispiele
  - 25 Beispiel 1:  
**Aus der Sicht der halb-automatischen Produktion**
  - 29 Beispiel 2:  
**Aus der Sicht der automatisierten Produktion**
  - 32 Beispiel 3:  
**Aus der Sicht des Anlagenbaus**
  - 34 Beispiel 4:  
**Aus der Sicht eines Lösungsanbieters für Industrie 4.0-Retrofit**
  - 36 Beispiel 5:  
**Aus der Sicht eines Lösungsanbieters für Industrie 4.0-Retrofit**
- 38 Industrie 4.0-Retrofit-Checkliste | Anforderungen
- 39 Industrie 4.0-Retrofit-Checkliste | Bestandsaufnahme
- 41 Industrie 4.0-Retrofit-Checkliste | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- 42 Quellenverzeichnis
- 44 Projektpartner / Impressum

## „Bewährtes erhalten und Neues gestalten“



Prof. Dr.-Ing.  
Jürgen Jasperneite

Diese in vielen Bereichen angewandte Maßgabe findet auch beim Industrie 4.0-Retrofit ihre Anwendung. Bewährtes, das sind die vielen Maschinen, die Jahre, teilweise Jahrzehnte zuverlässig ihren Dienst in den Betrieben verrichten. Neues, das sind die datengetriebenen Industrie 4.0-Anwendungen, die den Unternehmen viel wirtschaftliches Potential bieten. Betriebe, die nachhaltig nach wirtschaftlichem Wachstum streben, stehen vor der Herausforderung, wie sie Industrie 4.0 mit ihren teilweise noch rein mechanischen Maschinen nutzen können. Wie schlägt man nun die Brücke zwischen Bewährtem und Neuem? Wie kann man dieser Herausforderung systematisch begegnen? Was ist hierbei der erste Schritt? Dieser Leitfaden gibt eine systematische Hilfestellung.

Bevor Unternehmen die Frage nach dem Brückenschlag stellen, muss der Bedarf einer Industrie 4.0-Applikation ersichtlich sein. Industrie 4.0 ist kein Selbstzweck, sondern muss dem Betrieb wirtschaftliche Vorteile verschaffen, die die Einrichtungs- und Betriebskosten rechtfertigen. Leider übersehen viele Unternehmen das Potential, das in einer systematischen Auswertung von Maschinendaten liegt. Dies ist auch nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, dass Problemstellungen im Betrieb erst angegangen werden können, wenn sie zuvor erkannt wurden. Maschinendaten schaffen gerade diese Transparenz in den Zusammenhängen und zu möglichen Optimierungen. Diese können sowohl wirtschaftlicher als auch technischer Art sein. In welchem Umfang die Erfassung und Auswertung von Maschinendaten sinnvoll ist, gilt es von Fall zu Fall abzuwägen. Vielfach

reicht bereits eine einfache Berichterstattung von Anlagenzuständen aus, um Planung und Betrieb abzugleichen. In anderen Fällen sind spezifische Prozessdaten von Interesse, um vorausschauende Wartungen zu ermöglichen.

Da viele Bestandsmaschinen in der Industrie zum Teil bedingt durch ihr Alter keine Daten nach außen geben, stellt sich die Frage nach der Befähigung. Wirtschaftlich erweist sich oft ein Industrie 4.0-Retrofit als sinnvollste Maßnahme. Hierfür stehen mittlerweile unterschiedlichste Technologien, Protokolle und Produkte zur Verfügung. Vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) fällt es häufig schwer, die richtige Lösung zu bestimmen. Proprietäre Lösungen bestechen durch Einfachheit und Skalierbarkeit, sind jedoch in ihren Möglichkeiten und Erweiterungen gegebenenfalls beschränkt. Selbstentwickelte Lösungen auf der Basis standardisierter Technologien sind flexibel anpassbar, erfordern dagegen eigene IT-Kompetenz im Unternehmen. Die vielen Anwendungsbeispiele in diesem Leitfaden sollen Impulse setzen, wie ein Industrie 4.0-Retrofit aus unterschiedlichen Perspektiven umgesetzt werden kann.

Dieser Leitfaden möchte dem Leser mit einem spezifischen Stufenmodell sowie einer daran angelehnten Checkliste einen systematischen Einstieg in das Thema ermöglichen. Industrie 4.0-Retrofit bietet viel Potential für Prozessoptimierungen. Ich hoffe, dass dieser Leitfaden Unternehmen dazu ermutigt, ihre Bestandsmaschinen für Industrie 4.0 zu befähigen.

**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite**  
Fraunhofer-IOSB-INA

## Management Summary

**Unternehmen mit Bestandsmaschinen können vielfach von aktuellen Industrie 4.0-Anwendungen nicht profitieren, da ihre Maschinen nicht die erforderlichen Daten bereitstellen. Mit Industrie 4.0-Retrofit lassen sich diese Bestandsmaschinen effizient um diese Fähigkeiten erweitern.**

Industrie 4.0-Retrofit umschreibt die Befähigung einer Maschine, Daten über standardisierte Schnittstellen bereitzustellen. Diese Daten können in der Maschine vorliegen oder durch zusätzliche Sensorik entstehen.

Eine Bestandsmaschine kann durch diese Vernetzung befähigt werden, Menschen zu unterstützen, Produktionsprozesse zu optimieren, Qualität zu überprüfen, Prozesse zu dokumentieren oder neue datenbasierte Geschäftsmodelle zu ermöglichen. In vielen Anwendungsfällen reicht eine einfache Erfassung und Visualisierung von Maschinendaten für Anlagenbediener aus. Andere Anwendungsfälle erfordern die Erfassung und Dokumentation einfacher Zustände der Maschine (z.B. Betriebszeiten). Komplexere Anwendungsfälle erfordern z.B. die Erkennung ungeplanter Zustände (z.B. Anomalien) durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI). Aktionen, die auf Basis der gewonnenen Informationen automatisiert werden können, reichen von einfachen Alarmmeldungen bis hin zum steuernden Eingriff an der Maschine.

Die möglichen Ausprägungen eines Industrie 4.0-Retrofit werden in diesem Leitfaden mit einem Stufenmodell abgebildet. Dieser stellt die zuvor genannten Anwendungsfälle und Anforderungen in Relation und zeigt relevante Technologien und Möglichkeiten auf. Er bietet zudem eine Grundlage zur Einschätzung des derzeitigen bzw. geplanten Ausprägungsgrades des Industrie 4.0-Retrofit.

Für einen Industrie 4.0-Retrofit werden Sensoren an der Maschine, eine standardisierte Datenkommunikation, eine Datenplattform zur Speicherung und Auswertung der Daten sowie ggf. anwendungsspezifische verbundene Produktions- oder Warenwirtschaftssysteme benötigt. Konkrete Umsetzungen können bestehende Komponenten der Maschine (z.B. Sensoren) wiederverwenden, andere setzen auf von der Maschine unabhängige Hardware, um die Einrichtung des Retrofits effizient zu gestalten. Der Leitfaden bietet eine strukturierte Vorgehensweise, um zielgerichtet und effizient den Retrofit umzusetzen.

Wird eine Maschine durch einen Industrie 4.0-Retrofit erweitert, so ist nach Arbeitsschutzgesetz, Betriebssicherheitsverordnung und Produktsicherheitsgesetz zu prüfen, ob ein sicherer Betrieb der Maschine noch gewährleistet ist. Hierzu ist eine Risikobewertung erforderlich, ob eventuell eine sogenannte wesentliche Veränderung nach §2 ProdSG vorliegen könnte. Sollte dies der Fall sein, zum Beispiel weil mit Maschinendaten steuernd eingegriffen wird, erfordert dies ein erneutes CE-Konformitätsverfahren. Enthalten die erfassten Daten einen Personenbezug, so ist der Datenschutz gemäß DSGVO zu berücksichtigen. Erlauben diese Daten darüber hinaus Rückschlüsse über die Leistung der bedienenden Mitarbeiter, ist die Zustimmung des Betriebsrates erforderlich.

Die in diesem Leitfaden enthaltenen Anwendungsbeispiele verdeutlichen einen Retrofit aus unterschiedlichen Perspektiven und zeigen die Vorteile sowohl für die produzierenden Unternehmen als Anwender als auch für den Anbieter von Lösungen für Industrie 4.0-Retrofit. Eine Checkliste gibt dem Leser Anreize für eigene Umsetzungen und vereinfacht die Anforderungsanalyse mit beauftragten Dienstleistern. Zuletzt ermöglicht eine Wirtschaftlichkeitsrechnung die quantitative Bewertung eigener Umsetzungskonzepte.

## Einleitung und Zielsetzung

Dieser Leitfaden richtet sich an produzierende Unternehmen als Anwender oder Anbieter von Industrie 4.0-Retrofit-Lösungen. Neben dem stetigen Ziel der Optimierung der Gesamtanlageneffektivität stehen Betreiber vor der Herausforderung, im Kontext von Industrie 4.0 Produktionsdaten zu erheben und zu verarbeiten.

Neben dem Wunsch nach Steigerung der eigenen Produktivität sind treibende Kräfte aktuelle Megathemen wie die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen und eingesetzter Ressourcen, steigende Energiekosten, Nachfrage nach einer steigenden Produktqualität sowie die Nachhaltigkeit der Produktion im Gesamten.

Um die obigen Themen zu adressieren, stehen seit mehreren Jahren Industrie 4.0-Technologien zur Verfügung, welche es ermöglichen durch die Erfassung, Kommunikation und Analyse von Produktionsdaten einen detaillierten Einblick in die Produktion zu erhalten und diese auf Grundlage der Analyseergebnisse anpassen zu können.

Voraussetzung ist, dass Maschinendaten auf der einen Seite mittels Sensorik erfasst werden, auf der anderen Seite aber auch für die Weiterverarbeitung durch Drittanwendungen zugänglich sind. Viele Neuanlagen und -maschinen unterstützen inzwischen den für diesen Zweck entwickelten Kommunikationsstandard OPC UA. Alt- und Bestandsanlagen sind hier im Nachteil, da entweder keine geeignete Sensorik verbaut ist oder keine Möglichkeit besteht, auf Sensordaten über Schnittstellen zugreifen zu können.

**Industrie 4.0-Retrofit ermöglicht eine mehrwertbringende Aufrüstung von Bestandsmaschinen und -anlagen.**

Als kosteneffiziente Möglichkeit bietet es sich für derartige Maschinen an, diese mittels sogenanntem Industrie 4.0-Retrofit funktional mit Sensorik und Kommunikationsschnittstellen aufzurüsten, um sie auf dieser Grundlage in



Industrie 4.0-Produktionsumgebungen betreiben zu können. Wichtig ist die Unterscheidung zum klassischen lebenserhaltenden Retrofit. Dieser bringt eine Anlage in ihrer Grundfunktion auf den neusten Stand der Technik. Ein Industrie 4.0-Retrofit dagegen verändert an der Grundfunktion im Idealfall nichts. Dabei besteht die Möglichkeit auf einen klassischen Retrofit aufzusetzen und so von aktueller Hardware und Software zu profitieren.

**Der Leitfaden bietet KMU einen einfachen Einstieg in das Thema Industrie 4.0-Retrofit.**

Klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) fehlt häufig das Wissen und die Erfahrung, um das Thema Industrie 4.0-Retrofit im eigenen Unternehmen adressieren zu können. Unklar ist in den Unternehmen nicht nur die Vorgehensweise zur Durchführung eines Retrofits, sondern auch die Bewertung von dadurch entstehenden Möglichkeiten im Spannungsfeld der dabei entstehenden Kosten und Risiken. Vielfach fehlt die Grundlage für eine Bemessung der Gesamtanlageneffektivität. Ein Industrie 4.0-Retrofit kann sowohl die hierfür benötigte Transparenz schaffen als auch Wege aufzeigen, wie Effizienz gesteigert werden kann.

Dieser Leitfaden soll Anwender befähigen, ein grundlegendes Verständnis zum Thema Industrie 4.0-Retrofit zu erhalten, um auf dieser Basis das Retrofit-Potential im eigenen Unternehmen bewerten zu können und gemeinsam mit Anbietern von Retrofit-Lösungen Projekte durchführen zu können. Anbieter von Retrofit-Lösungen sollen mit dem Leitfaden auf die besonderen Anforderungen sowie technischen und nicht-technischen Randbedingungen des Retrofits sensibilisiert werden.

Das folgende Kapitel zeigt das Verständnis und den Nutzen von einem Industrie 4.0-Retrofit auf. Hiernach wird ein Stufenmodell vorgestellt, das Anforderungen und Maßnahmen eines Industrie 4.0-Retrofit strukturiert abbildet. Dieses kann Unternehmen zur Einordnung ihrer Industrie 4.0-Retrofit-Maßnahmen dienen. In den folgenden Kapiteln wird die grundsätzliche technische Architektur mit beteiligten Systemen und Geräten erläutert sowie eine systematische Vorgehensweise beim Retrofit beschrieben. Anschließend werden die Auswirkungen und Risiken eines Retrofits erläutert und beispielhafte Implementierungen und Anwendungsfälle beschrieben. Diese zeigen sowohl die Perspektive des Anlagenbetreibers und des Anlagenbauers als auch die des Lösungsanbieters beim Industrie 4.0-Retrofit. Abschließend befindet sich eine Checkliste für Unternehmen zur Bewertung des Retrofit-Bedarfs sowie eine Kalkulationsvorlage zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer potentiellen eigenen Lösung.

## Anforderungen und Anwendungsfälle

Was ist ein Industrie 4.0-Retrofit? Inwiefern unterscheidet er sich vom klassischen Maschinen-Retrofit? Dieses Kapitel beantwortet diese Fragen und zeigt Anforderungen und beispielhafte Anwendungsfälle eines Industrie 4.0-Retrofit.

### Grundverständnis

Ein klassisches Retrofit in der Industrie bezeichnet die Modernisierung bzw. den Ausbau bestehender Maschinen, Anlagen und Betriebsmittel. Ziele eines Retrofit sind die Verlängerung der Lebensdauer, Steigerung des Produktionsvolumens und der Produktqualität, Optimierung der Energieeffizienz, Erfüllung gesetzlicher Vorgaben (z.B. Emissionen und Arbeitssicherheit) oder das Sicherstellen der Versorgung mit Ersatzteilen. Hierzu werden beispielsweise Baugruppen getauscht, für die keine Ersatzteile mehr verfügbar sind oder (neue) Steuerungs- und Automatisierungssysteme installiert. Mit dem Ziel der Energieeinsparung wäre ein klassisches Retrofit demnach beispielsweise der Austausch von Motoren durch energieeffizientere Antriebe oder die Integration von Frequenzumrichtern. In Abgrenzung zu diesem klassischen Retrofit wird im Rahmen dieses Leitfadens das sogenannte Industrie 4.0-Retrofit thematisiert.

### Industrie 4.0-Retrofit ermöglicht eine automatisierte Überwachung von Produktionsvorgängen

#### Warum Retrofit und nicht Neuanschaffung?

Fertigungsanlagen sind häufig über eine Vielzahl an Jahren oder teilweise mehrere Jahrzehnte im Einsatz. Insbesondere im Sondermaschinenbau wäre eine Neukonstruktion und ein Neuaufbau einer bestehenden und lauffähigen Maschine wirtschaftlich nicht darstellbar, wenn die primäre Zusatzfunktionalität in der Möglichkeit zur Datenerfassung und -analyse besteht.



Abbildung 1: Retrofit an einer Standbohrmaschine

#### Beispiel Standbohrmaschine

Am Beispiel einer Standbohrmaschine aus den 1990er Jahren soll im Folgenden Industrie 4.0-Retrofit erläutert werden (vgl. Abbildung 1):

Im Rahmen des Retrofits wurden zunächst Klemmvorrichtungen für Sensoren konstruiert und mittels additiver Fertigungsverfahren hergestellt. Diese haben den Vorteil, dass sie einfach an der Bohrmaschine angebracht und auch wieder rückstandslos entfernt werden können. Mit den Sensoren selbst kann die Drehzahl (Lichtschanke), die Temperatur der Werkzeugspitze (Pyrometer), der Vorschub des Bohrfutters (Ultraschall-Abstandssensor) sowie die elektrische Leistungsaufnahme (Energiesensormessgerät) erfasst werden. Die Sensoren sind mit einem Produktionsdatenerfassungssystem verbunden, welches als Gateway fungiert. Dieses stellt die Daten per OPC UA zur Verfügung, so dass sie über einen VPN-Tunnel von einem Cloud-basierten Datendienst verarbeitet werden können. Dieser verwendet maschinelle Lernverfahren und ermöglicht eine Fehlererkennung

während der Produktion (z.B. fehlerhafte Drehzahl, falsche Holzart oder abgenutztes Werkzeug). Als Parameter der Gesamtanlageneffektivität lassen sich Betriebsdaten wie die Anzahl der Bohrvorgänge sowie vorgangsspezifische Produktionszeiten und Stillstandzeiten ermitteln.

### **Menschen unterstützen**

Ein Industrie 4.0-Retrofit liefert Informationen über den Betriebszustand der Maschine. Vielfach können erfahrene Mitarbeiter anhand der äußeren Erscheinung oder der Geräuschentwicklung der Maschine erkennen, ob ein Problem vorliegt oder nicht. Unerfahrene Mitarbeiter können dies oft nicht richtig bzw. nicht rechtzeitig bewerten, da sie die Maschine nicht ausreichend kennen. Werden systematisch Daten an der Maschine erfasst, lässt sich das Wissen um den Zustand der Maschine automatisieren und unabhängig vom Mitarbeiter bewerten.

### **Effizienter Fabrikbetrieb**

Vielfach können allein die einfachen Betriebszustände „Ruhezustand“, „Betrieb“ und „Ausgeschaltet“ der Produktionsleitung wertvolle Hinweise geben, welche Maschinen nach Plan arbeiten und welche nicht. Ein automatisierter Plan/Ist-Abgleich kann in größeren Maschinenparks Probleme sichtbar machen, die dann systematisch verbessert werden können.

Erfasste Maschinendaten können Aufschluss darüber geben, welche Ressourcen eine Maschine verbraucht und welcher Arbeitsschritt wie viel davon in Anspruch nimmt. Auf diese Weise lassen sich z.B. Lastspitzen erkennen und durch entsprechende Ansteuerung zukünftig vermeiden. Zudem können mehrere Maschinen so angesteuert werden, dass sich ihre Lastspitzen nicht überlagern.

Erfasste Produktionsmengen können zusätzlich zur Bewertung der Produktivität und des Durchsatzes der Maschine herangezogen werden. Auf diese Art lassen sich Maschinenparameter bewerten und optimieren.

### **Qualitätsprüfung von Produkten und Prozessen**

Zusätzliche Sensorik kann auch auf die Produkte oder den Produktionsprozess ausgerichtet sein und die Qualität bewerten. Im Falle von Produkten kann z.B. eine optische Qualitätsbewertung in Verbindung mit Prozessdaten eine Optimierung des Prozesses bewirken. Der Aufwand, Fehler in den Maschinenparametern zu finden, kann so minimiert werden.

Eine auf zusätzlicher Sensorik bestehende Qualitätskontrolle kann sowohl die Werkstück- als auch die Produktqualität automatisiert prüfen und ungeeignete Parametersätze oder Rahmenbedingungen der Maschine offenbaren.

### **Optimierung der Maschinenwartung**

Maschinen werden entweder nach zeitlichen Abständen oder nach Bedarf gewartet. Im Gegensatz zu neuen Maschinen werden alte Maschinen entweder zeitlich oder nach Erfahrung des Mitarbeiters für die Wartung eingeplant. Tritt jedoch vorzeitig ein Fehler auf oder fehlt der erfahrene Mitarbeiter, so kann es zu unerwarteten Ausfällen der Produktion führen. Werden Daten zum Zustand der Maschine kontinuierlich erfasst, können Verschleißprozesse rechtzeitig gemeldet und somit geplante Wartungen ermöglicht werden. Die Prozesssicherheit kann auf diese Weise deutlich erhöht werden. Eine Umfrage unter VDMA-Mitgliedern im Kontext dieses Leitfadens hat ergeben, dass dieser Anwendungsfall für alle Teilnehmer von Interesse ist.

### **Zustandsüberwachung von Maschinen**

Erfahrene Maschinenbediener kennen den Zustand ihrer Maschinen. Die Unternehmensleitung dagegen ist bei alten Maschinen auf die Kompetenz und die Meldung ihrer Mitarbeiter angewiesen. Werden Daten an der Maschine generiert und der Produktionsprozess digital abgebildet, lässt sich der Zustand der Maschine auch der Unternehmensführung live und rund um die Uhr berichten. Dies ermöglicht es, kontinuierlich Transparenz für die Bestimmung der Gesamtanlageneffektivität (OEE) des Produktionsprozesses zu schaffen.

### **Identifikation von Werkstücken und Produkten**

Sensoren können auch eine automatisierte Werkstück- oder Produktidentifikation ermöglichen, z.B. über funkbasierte Technologien wie Radio Frequency Identification (RFID). Dadurch ließen sich Produkte auch über Bestandsmaschinen hinweg verfolgen. Die automatisierte Identifikation kann dazu verwendet werden, konkrete Werkstücke und deren erfasste Qualität mit Maschinenparametern in Verbindung zu bringen. Diese Erkenntnisse können zur Optimierung von Maschinenparametern führen.

### **Neue datenbasierende Geschäftsmodelle**

Ein Industrie 4.0-Retrofit kann neue Geschäftsmodelle für bestehende Maschinen ermöglichen. So können diese z.B. für Leasing- und Leihzwecke gemäß ihrer Verwendung abgerechnet werden. Werden Daten zum Nutzungsverhalten erfasst, kann auch dies als Grundlage der Rechnungsstellung verwendet werden. Alternativ können Daten über die Produktion Kunden zur Verfügung gestellt werden, um qualitätsbezogene Parameter überprüfen zu können.

### **Selbstregulierende Fabrik**

Grundsätzlich können ausgewertete Maschinendaten auch für diverse automatisierte Steuerungsaufgaben verwendet werden. Dies ist jedoch in der Regel mit sehr hohem Aufwand und potentiellen Fehlern verbunden. Maschinen können z.B. zeitlich koordiniert hochgefahren werden, um eine möglichst effiziente Gesamtleistungsaufnahme zu gewährleisten. Andererseits kann durch die Korrelation von Maschinenparametern und Ergebnissen der automatisierten Qualitätsprüfung maschinell gelernt werden, wie die Maschine optimal eingestellt wird.

### **Skalierbarkeit**

Retrofit-Lösungen können so generisch sein, dass sie auf nahezu jede andere Maschine übertragbar sind. Sie können aber auch so spezifisch sein, dass eine Übertragung unmöglich erscheint. Die Skalierbarkeit ist dabei stark von der Messgröße abhängig. So können Prozessmedien wie z.B. die elektrische Leistung von nahezu jeder Maschine erfasst werden. Hydraulische Drücke sind im Gegenteil dazu nur in spezifischen Maschinen zu überwachen. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, möglichst generische Messgrößen zu wählen, um eine spätere Skalierung der Lösung auf weitere Maschinen zu ermöglichen.

### **Wirtschaftlichkeit**

Die Kosten einer Industrie 4.0-Retrofit-Lösung müssen den Vorteilen gegenübergestellt werden und einen Return on Investment (RoI) haben. Den einmaligen Einrichtungskosten müssen laufende Einsparungen in den Betriebs- und Prozesskosten folgen. Für die Berechnung des RoI und der Berücksichtigung der wesentlichen Kosten befindet sich in diesem Leitfaden eine Vorlage für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung. Weiterführende Informationen können dem VDMA-Leitfaden „Investitionsrechnung für Digitalisierungsprojekte und Industrie 4.0-Vorhaben“ entnommen werden [1].

## Industrie 4.0-Retrofit-Stufenmodell

Das Industrie 4.0-Retrofit-Stufenmodell bietet einen Überblick über die Möglichkeiten und Umsetzungsformen eines Retrofits für Industrie 4.0 an einer vorhandenen Maschine. Unternehmen können hiermit den aktuellen Stand von bisherigen Maßnahmen zum Industrie 4.0-Retrofit einordnen und Ideen für Erweiterungen bekommen.

technischen Industrie 4.0-Retrofit-Maßnahme zur rechten Seite hin. Die unterschiedlichen, aufeinander aufbauenden Stufen sollen es ermöglichen, den aktuellen Stand zu beurteilen sowie konkrete Zielvorstellungen und Anforderungen definieren zu können. Nicht in jedem Fall ist die höchstmögliche Ausbaustufe sinnvoll. Welcher Industrie 4.0-Retrofit Level anzustreben ist, hängt von den jeweiligen Anforderungen ab.

### Das Stufenmodell im Überblick

Das Industrie 4.0-Retrofit-Stufenmodell aus Abbildung 2 veranschaulicht die unterschiedlichen Ausprägungsgrade eines möglichen Industrie 4.0-Retrofit. Ausgehend von dem konkreten Anwendungsfall und den zugehörigen betriebswirtschaftlichen Anforderungen auf der linken Seite steigt die Komplexität und der Umfang der

### Erfassung und Visualisierung

Grundlage und erste Stufe eines jeden Industrie 4.0-Retrofit ist die Erfassung und Visualisierung von Prozessdaten, die an der Maschine mittels Sensorik aufgezeichnet werden. Vielen Unternehmen reicht bereits eine Echtzeit-Visualisierung der Maschinendaten zur Ergänzung des

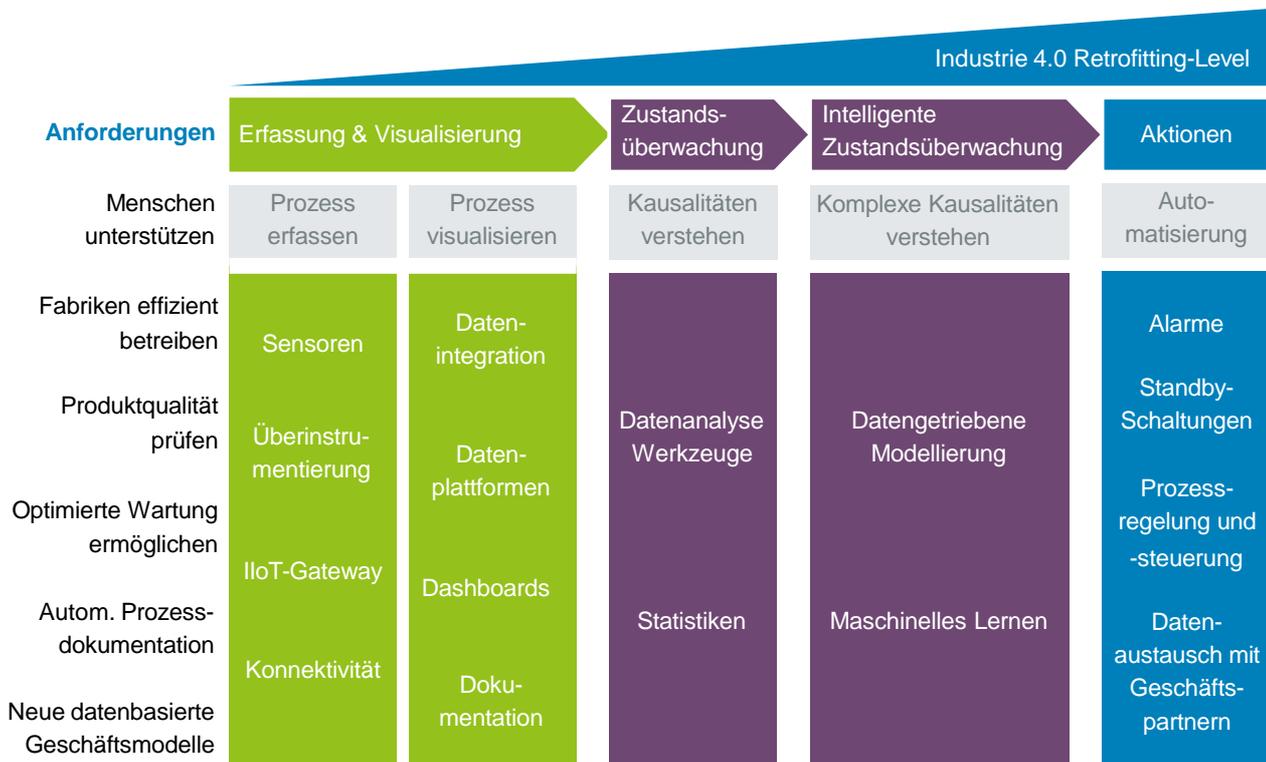


Abbildung 2: Industrie 4.0-Retrofit-Stufenmodell

Lagebildes der Produktion. Dieses Mehr an Information kann z.B. zu schnelleren Reaktionszeiten bei Ausfällen führen und Transparenz über die Effizienz der Maschine liefern.

### **Zustandsüberwachung**

Manche Zusammenhänge von Maschinendaten sind nicht einfach an den erfassten Echtzeitdaten zu erkennen. Es werden Analyse-Werkzeuge benötigt, die Maschinendaten automatisiert verarbeiten und systematisch vergleichen. Die Ausbaustufe Zustandsüberwachung fasst die erforderlichen Werkzeuge zusammen. Je nach Komplexität des Prozesses können einfache Datenanalyse-Werkzeuge wie z.B. Grenzwertbetrachtungen oder Statistiken ausreichen. Steigt die Komplexität, sind datengetriebene Modelle oder Verfahren des maschinellen Lernens besser geeignet. Die fortgeschrittene intelligente Zustandsüberwachung fasst diese Werkzeuge zusammen.

Die zuvor erwähnte Umfrage unter VDMA-Mitgliedern zeigt, dass viele Unternehmen trotz Bedarfes noch keine Erfahrungen mit Verfahren des maschinellen Lernens sammeln konnten. Eine Zustandsüberwachung auf der Basis von einfachen Analysen und Statistiken wird dagegen schon vielfach angewandt.

### **Aktionen**

Die Erfassung und Verarbeitung von gewonnenen Informationen allein bieten bereits Mehrwerte für die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen. Eine darauf aufsetzende Automatisierung kann weitere Mehrwerte bieten. So können z.B. ausgelöste Alarmmeldungen verhindern, dass auftretende Warnungen durch den Mitarbeiter übersehen werden. Anlagen können gezielt in den Standby-Betrieb geschaltet werden, wenn sie nicht benötigt werden. Denkbar wäre auch eine Regelung der Maschine oder der automatisierte Austausch von Informationen mit Geschäftspartnern, Lieferanten oder Dienstleistern, um neue Geschäftsmodelle zu erschließen.

## Industrie 4.0-Retrofit-Infrastruktur

**Industrie 4.0-Retrofit setzt auf eine systematische IT-Infrastruktur und standardisierte Kommunikationstechnologien. Dieses Kapitel soll einen Überblick über die Konzepte und Komponenten von der Maschine bis zur ausgewerteten Information geben. Die herstellerneutrale Beschreibung soll verdeutlichen, dass Komponenten unterschiedlicher Hersteller kombiniert werden können.**

### Die Maschine

Im Kontext dieses Leitfadens ist der Begriff Maschine stets mit einer in der Regel mehrere Jahre alten und gebrauchten Maschine zu verbinden, deren grundsätzliche Funktion nach wie vor gegeben ist. Diese Maschine charakterisiert, dass sie keine oder zumindest nicht ausreichend Daten über ihren Zustand und Ressourceneinsatz, den Prozess sowie die Umgebung in einem standardisierten Industrie 4.0-Format nach außen gibt. Diese Maschinen können rein mechanisch arbeiten. Sie können aber auch bereits elektronische Steuerungen enthalten, die einerseits durch den Hersteller programmiert wurden, andererseits können die Programme auch Eigenentwicklungen des Maschinenbetreibers sein.

### Integrierte Steuerung und Sensorik

Maschinendaten können, wie in Abbildung 3 gezeigt, auf drei Arten erfasst werden. Befindet sich in der Maschine eine elektronische Steuerung mit Ethernet-basierender Schnittstelle, so können Prozessdaten (Verarbeitungszeiten, Werkzeugeinsatz, etc.) und Daten von integrierten Sensoren potentiell mit einem steuerungsabhängigen Datenprotokoll zur Verfügung gestellt werden. Besteht keine Möglichkeit die Daten aus der Steuerung auszulesen, können die analogen Strom- oder Spannungswerte der integrierten Sensoren ggf. elektrisch abgegriffen werden ohne die Steuerung zu beeinflussen. Die dritte Option besteht in der Anbringung externer Sensorik an der Maschine.

### Anbindung externer Sensorik

Messwerte externer Sensoren können entweder analog oder digital über Kabel- oder Funkverbindungen übertragen werden. Im industriellen Kontext werden noch vermehrt analoge Sensoren eingesetzt. Die Umwandlung in ein digitales Signal übernimmt hier in der Regel eine industrielle Steuerung oder ein Buskopleter. Zumeist erfolgt die Übersetzung in einen der gängigen industriellen Feldbusse. Sensorsysteme, die bereits eine Analog-Digital-Wandlung integrieren, kommunizieren entweder direkt via Ethernet-basierender Protokolle oder werden über serielle/parallele Datenschnittstellen an ein Industrial Internet of Things-Gateway (IIoT-Gateway) angebunden. Setzen Sensoren auf eine Nahbereichsfunkübertragung, so muss ein Access Point als Empfangsstelle in unmittelbarer Nähe vorhanden sein, der die Daten ebenfalls in ein Ethernet-basierendes Format überführt. Im Falle von Sensoren, die über Mobilfunk angebunden werden, findet in der Regel eine Kommunikation über das Internet statt. Aus diesem Grund ist hier auf sichere Übertragung der Daten zu achten. Mit zunehmender Verbreitung des 5G-Mobilfunkstandards errichten Unternehmen vermehrt ihre eigene unternehmensinterne 5G-Mobilfunkzelle. Auch in diesem Fall ist es ratsam die Kommunikation auf gesichertem Wege durchzuführen. Einen Überblick über die unterschiedlichen Kommunikationsformen mit denen Sensorik angebunden werden kann, gibt der Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien im VDMA-Leitfaden Sensorik [2].

### Industrial Internet of Things-Gateway

Ein Gateway für das Industrial Internet of Things übersetzt die unterschiedlichen digitalen Protokolle und Übertragungstechnologien der Sensordatenquellen in eine einheitliche Industrie 4.0-konforme Kommunikation. Dies ermöglicht es, unterschiedlichste Sensoren in Betrieb zu nehmen und deren generierte Daten einheitlich auf einer nachgeschalteten Datenplattform zu verarbeiten. IIoT-Gateways können auf der

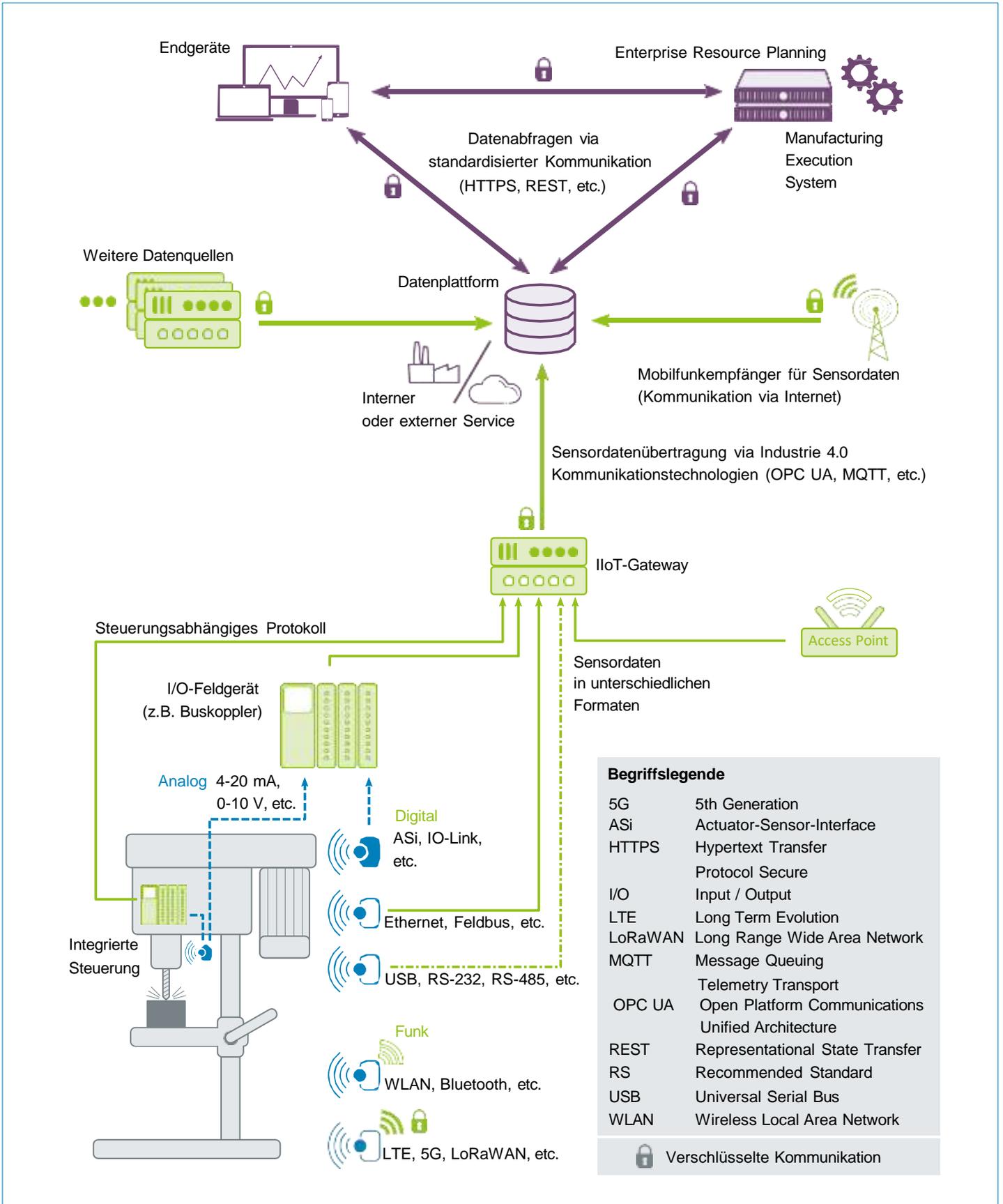


Abbildung 3: Sensordatenerfassung und -verarbeitung ohne steuernden Eingriff

einen Seite, wie in Abbildung 3 gezeigt, als separates Gerät (z.B. Industrie-PC) eingebunden werden. Auf der anderen Seite kann die Funktionalität Bestandteil einer aktuellen Steuerung sein. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, dass aktuelle und zukünftige Sensorik direkt auf Industrie 4.0-konforme Kommunikation setzt und kein dediziertes IIoT-Gateways erforderlich ist. Abbildung 3 zeigt dies beispielhaft an der Sensorik, die mittels Mobilfunk angebunden wurde.

Weitere Aufgaben des IIoT-Gateways bestehen darin, Sensordaten einer Vorverarbeitung zu unterziehen. Unter anderem werden den Messwerten Zeitstempel und Metadaten zugeordnet. Hierfür sollte das IIoT-Gateway mit einer globalen Zeitrechnung synchronisiert sein. Metadaten (wie z.B. Beschreibung „Luftdruck“, Einheit „bar“, Wertebereich „0-15“) werden semantisch annotiert und dienen der Beschreibung der Sensordaten, so dass diese auf weiterführenden Systemen leichter zuzuordnen und zu verarbeiten sind. Des Weiteren können Sensordaten aggregiert, skaliert, transformiert oder anderweitig verarbeitet werden. Diese weiterführenden Verarbeitungsschritte ermöglichen unter anderem eine Reduktion der erforderlichen Netzwerkbandbreite, weil z. B. nur zusammengefasste Messwerte übermittelt werden müssen.

#### **Industrie 4.0-Kommunikationstechnologien**

Im Kontext von Industrie 4.0 können unterschiedliche Kommunikationstechnologien zum Einsatz kommen (z.B. OPC UA, MQTT, AMQP). Sie unterscheiden sich im Wesentlichen in der Art der Nachrichtenverteilung und den zusätzlichen Metainformationen, die den Daten standardisiert beigefügt werden können. Anhand der genannten Beispiele soll dies verdeutlicht werden.

MQTT, AMQP und OPC UA Publish/Subscribe verwenden eine Vermittler-Architektur, bei dem eine Vielzahl an Sendern (Publisher, z.B. Sensoren) ihre Daten an einen zentralen Vermittler (Broker, z.B. in Form einer separaten Applikation) kommunizieren. Dieser bietet diese Daten wieder mehreren Empfängern (Subscriber, z.B. Datenplattform) an, die diese Daten abonniert

haben. Neben der vereinfachten Aggregation von (Sensor-)Daten hat diese Nachrichtenverteilung den Vorteil, dass eine Kommunikation mit einem unternehmensexternen Endpunkt (z.B. Serviceprovider der Datenplattform) aus dem Unternehmen heraus aufgebaut werden würde. Dies kann sicherheitskritische Ausnahmen in Netzwerk-Firewalls für den Zugriff von außen vermeiden. Derartige Ausnahmen sind in Client-Server Architekturen wie z.B. OPC UA Client/Server erforderlich, weshalb diese mit mehr Aufwand in einem Industrie 4.0-Retrofit-Szenario mit externen Kommunikationspartnern verbunden sind.

Während beide genannten Ausprägungen von OPC UA es erlauben Daten über ein Informationsmodell standardisiert mit Metainformationen zu beschreiben, ermöglichen MQTT und AMQP dies nicht. MQTT und AMQP konzentrieren sich im Wesentlichen darauf, Nachrichten jeglicher Art von Quellen zu Senken zu transportieren. Eine Kennzeichnung der Daten erfolgt auf der Basis von Datenbezeichnern (Topics), die von Empfängern abonniert werden. Wenn Metadaten nicht zwingend benötigt werden oder diese in den Inhalt der Nachricht inkludiert werden können, sind MQTT und AMQP geeignete leichtgewichtige Alternativen zu OPC UA für die aggregierte Zusammenführung von (Sensor-) Daten auf der Datenplattform.

Mehr Informationen zu OPC UA sind dem VDMA-Leitfaden Industrie 4.0-Kommunikation mit OPC UA [3] zu entnehmen.

#### **Konnektivität**

IIoT-Gateways oder Sensoren, die bereits Industrie 4.0-Kommunikation unterstützen, können entweder über Ethernet-basierende Kabelnetzwerke oder über Funknetzwerke ihre Daten zur Verfügung stellen. Datenplattformen, die sich in einer aus dem Internet erreichbaren Cloud-Lösung befinden, können sowohl aus dem Firmennetz als auch über Mobilfunkverbindungen direkt erreicht werden. Dabei ist durch eine sichere Kommunikation die Vertraulichkeit sowie die Integrität der Daten sicher zu stellen. Die Vertraulichkeit bei der Kommunikation kann über offene Standards wie z.B. TLS und darauf aufbauende Protokolle (wie z.B. HTTPS) gewährleistet werden. Wird keine

derartige Verschlüsselung unterstützt, so sind alternativ Tunnel-Technologien (VPN) in Erwägung zu ziehen. Diese können auch zum Einsatz kommen, wenn die Datenplattform nicht über das Internet erreichbar ist. Über den Tunnel kann dem Gerät Zugriff auf den Bereich des Firmennetzwerks gewährt werden, welcher die Datenplattform oder andere Zielsysteme enthält. Weitere Hinweise für eine sichere Kommunikation sind dem VDMA-Leitfaden Industrie 4.0 Security zu entnehmen [4].

### **Datenplattform**

Die von den IIoT-Gateways bereitgestellten Sensordaten werden auf einer Datenplattform gesammelt, analysiert sowie für den effizienten Zugriff durch Endgeräte und weitere Systeme aufbereitet. Der Zugriff erfolgt über standardisierte Protokolle wie z.B. HTTPS.

Datenplattformen verwenden Datenbanken, die die aufbereiteten Sensordaten in Referenz zu ihren Zeitstempeln abspeichern. Um Sensordaten unterschiedlicher Quellen und Anlagen bei Bedarf miteinander verknüpfen zu können, ist eine Zeitsynchronisation der Datenquellen und der Datenplattform erforderlich. Die Metadaten der jeweiligen Sensordaten können die Einrichtung neuer Datenquellen auf der Datenplattform vereinfachen, da sie bereits eine Beschreibung des Inhalts und des technischen Aufbaus der Daten enthalten.

Die Datenplattform kann optional zusätzlich Applikationen für Analyse- und Auswertezwecke enthalten, die für eine automatisierte Zustandsüberwachung verwendet werden können.

Für die Visualisierung der Daten ist eine Applikation auf der Datenplattform vorgesehen, die ein Dashboard zur Verfügung stellt. Der Zugriff auf dieses Dashboard erfolgt entweder auf der Basis von Webtechnologien oder einer herstellereigenen Anwendung für Endgeräte. Das Dashboard dient der Anzeige der aktuellen sowie historischen Mess- und Analysedaten.

### **Endgeräte und verbundene Systeme**

Sensordaten sowie Auswertungsdaten können durch die Datenplattform von unterschiedlichen Geräten und Systemen über standardisierte Schnittstellen abgerufen werden. Neben Endgeräten können die Daten auch für die Steuerung von betriebswirtschaftlichen oder produktionstechnischen Prozessen verwendet werden. Entsprechende ERP- und MES-Systeme können Daten von der Datenplattform über die standardisierten Schnittstellen abgreifen und innerhalb ihrer Applikationen verwerten.

## Vorgehensweise bei einem Industrie 4.0-Retrofit

Dieses Kapitel zeigt auf, wie ein Industrie 4.0-Retrofit systematisch durchgeführt werden kann. Zusätzlich werden unterschiedliche Optionen der Umsetzung aufgezeigt und diese erläutert.

### 1. Interessante Messgrößen definieren

Zu Beginn ist es erforderlich, die für den Anwendungsfall interessanten Messgrößen zu definieren. Sind diese definiert, lassen sie sich im Hinblick auf einen Industrie 4.0-Retrofit in vier Kategorien einteilen:

- Prozessmedien
- Umgebungsbedingungen der Maschine
- Vibrations- und Bewegungsdaten
- Prozessspezifische Messgrößen

#### Prozessmedien

Zur Kategorie Prozessmedien gehören unter anderem die folgenden Messgrößen:

- Elektrische Leistung
- Druckluftversorgung
- Wasserversorgung
- Ölversorgung

Sensoren für diese Messgrößen werden für gewöhnlich vor der Maschine installiert und erfordern so keinen Eingriff in die Maschine selbst. Eine auf diesen Messgrößen basierende Lösung begünstigt die kosteneffiziente Erweiterung auf andere Maschinen mit ähnlichem Ressourceneinsatz. Allein durch diese Daten lassen sich bereits viele Anforderungen und Anwendungsfälle umsetzen. So können Daten über die elektrische Leistung unter anderem Auskunft über Einsatzzeiten und Lastspitzen geben. Durch die Protokollierung des Maschineneinsatzes lässt sich z. B. die Einsatzplanung überprüfen und gegebenenfalls optimieren. Stehen diese Ressourcen nicht in ausreichender kontinuierlicher Menge und Druck zur Verfügung, kann dies Einfluss auf

den Betrieb als Ganzes oder auf die Qualität der Produkte nehmen. Eine Protokollierung kann hier Aufschluss geben.

#### Umgebungsbedingungen der Maschine

Sensoren, welche die Umgebung der Maschine erfassen, sind ebenfalls nicht direkt abhängig von der Maschine und können Kontextinformationen zu

- Temperatur,
- Luftfeuchte und -druck,
- Feinstaub- oder
- Gaskonzentrationen,
- Geräusentwicklung sowie
- Umgebungsbeleuchtung

zur Verfügung stellen. Sie können flexibel an der Maschine eingesetzt werden. Durch die Korrelation von Prozess- und Umgebungsinformationen können sich Prozessphänomene (z.B. Qualitätsschwankungen) erklären, die durch ihr gelegentliches Auftreten schwer nachzuvollziehen sind. Der Zustand einer Maschine lässt sich in manchen Fällen auch über ihre Geräusentwicklung bestimmen. Dies gelingt jedoch nur, wenn andere Geräusquellen nicht störend einwirken.

#### Vibrations- und Bewegungsdaten

Bewegungsabläufe der Maschine können durch sogenannte inertielle Messeinheiten (IMU) erfasst werden. Da Bewegungsabläufe in der Regel wiederholend vorkommen, lassen sich auf einfache Weise Muster erkennen und überprüfen. IMU können auch Vibrationen erfassen. Bei hochfrequenten Applikationen jedoch sind spezielle, für die Frequenzanalyse gefertigte, Sensoren zu bevorzugen.

#### Prozessspezifische Messgrößen

Weitere Sensoren sind spezifisch für den Maschinenprozess. In diesem Fall lässt sich die Lösung zumeist nur schwer auf andere Maschinen übertragen und gestaltet sich bzgl. Einrichtung und Integration zumeist aufwändi-

ger. Dennoch haben auch spezifische Sensorik-Anwendungen ihre Berechtigung, da sie konkrete Fragestellungen des Maschinenbetreibers adressieren. Der Werkzeugkasten Sensortyp im VDMA-Leitfaden Sensorik kann als Orientierung für eine Auswahl der spezifischen Sensorik dienen [2].

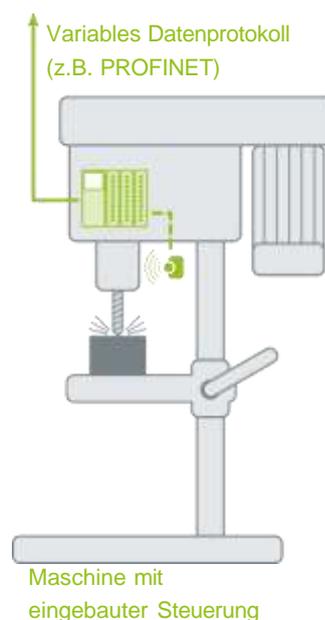
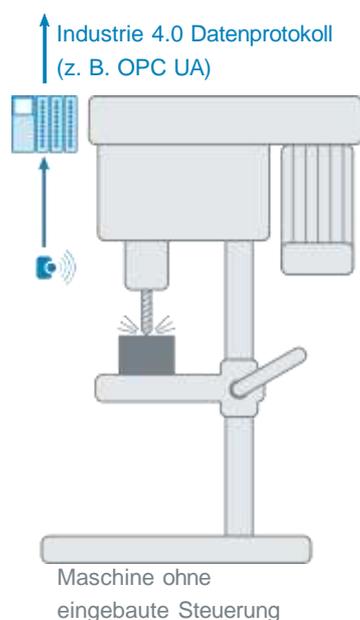
## 2. Vorhandene Datenquellen nutzen

Abbildung 4 zeigt die Möglichkeiten des Abgriffs an einer Maschine ohne und mit integrierter Sensorik und Steuerung. Je nach Alter und Ausbaustufe kann es sein, dass die Maschine bereits die erforderliche Sensorik und eine elektronische Steuerung enthält. Bevor nun zusätzliche Sensorik beschafft und eingerichtet wird, sollte geprüft werden, ob der Zugriff auf die verbaute Sensorik durch die Steuerung über eine Ethernet-Schnittstelle ermöglicht wird. Ist dies nicht der Fall, kann ein Steuerungsupdate des Herstellers diese Funktion eventuell hinzufügen. Es wird daher empfohlen, den Kontakt zum Maschinenhersteller oder zu einem spezialisierten Dienstleister zu suchen. Befindet sich das Steuerungsprogramm in der Verantwortung

des Anlagenbetreibers, kann diese Funktion gegebenenfalls durch ihn oder einen Dritten hinzugefügt werden. Ist auch dieses nicht möglich, kann zuletzt geprüft werden, ob die analogen Sensorwerte ohne Beeinflussung der Steuerung elektrisch abgegriffen werden können und einer externen Steuerung oder einem Buskoppler zugeführt werden können.

## 3. Anbringung externer Sensorik

Maschinen, die ohne eine elektronische Steuerung auskommen oder nicht alle erforderlichen Sensoren über eine Schnittstelle bereitstellen, erfordern den Einsatz externer Sensorik. Einige Arten von Sensoren können ohne größere Arbeitsaufwände und Risiken kontaktlos an der Maschine angebracht werden. Zu den kontaktlosen Sensoren zählen optische, magnetische, akustische sowie kapazitive Sensoren. Da diese den Prozess nicht oder nur minimal beeinflussen, sind sie bevorzugt einzusetzen. Es kann jedoch auch unter bestimmten Umständen erforderlich sein, Sensorik in der Maschine bzw. in dem Prozess zu befestigen.



Wenn die eingebaute Steuerung keine oder nicht die gewünschten Daten nach außen führt, können folgende Ansätze verfolgt werden:

1. Update der Steuerungssoftware des Maschinenherstellers
2. Funktionserweiterung durch Programmierung
3. Parallelabgriff der integrierten Sensorik
4. Externe Sensorik anbringen

 Hinzugefügte Komponente / Sensorik

 Bereits vorhandene Komponente / Sensorik

Abbildung 4: Möglichkeiten der Sensordatenerfassung an einer vorhandenen Maschine

Nach der Auswahl der externen Sensorik stellt sich die Herausforderung, diese zuverlässig an der Maschine oder dem Prozess anzubringen. Dabei müssen Halterungen eine Ausrichtung der Sensorik ermöglichen, sowie die Befestigung an der Maschine bzw. dem Prozess gewährleisten. Grundsätzlich sind folgende Befestigungsmöglichkeiten denkbar:

- Schraubverbindung
- Klemmverbindungen
- Klebeverbindungen
- Magnetische Verbindungen

Da die additive Fertigung mittels 3D-Drucker in vielen Unternehmen im Einsatz ist, können entsprechende individuelle Halterungen auch gedruckt werden. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass das gedruckte Material den an der Maschine vorherrschenden Arbeitsbedingungen standhält. Weitere Informationen bezüglich der mechanischen Integration von Sensorik können dem Werkzeugkasten mechanische Integration im VDMA-Leitfaden Sensorik entnommen werden [2].

#### 4. Netzwerkinfrastruktur prüfen

Die Netzwerkinfrastruktur ist ein entscheidender Faktor beim Industrie 4.0-Retrofit. Vor einer Umsetzung ist es daher ratsam, die aktuelle Verfügbarkeit von Netzwerkschnittstellen und mögliche Bandbreiten der vorhandenen Netzwerkinfrastruktur zu identifizieren. Die erforderliche Bandbreite hängt zum einen von der Größe der einzelnen Sensordaten sowie von der jeweiligen Sendefrequenz ab.

Bei der Bereitstellung der Daten wird unterschieden zwischen einem periodischen Senden der Sensordaten unabhängig vom Wert der Sensordaten und einem Senden nur bei Änderung des Sensorwertes. Letzteres hat das Potential die erforderliche Netzwerkbandbreite zu reduzieren. Streut der Sensorwert dagegen kontinuierlich, so kann nur wenig bis keine Bandbreite eingespart werden.

#### 5. Industrie 4.0-Kommunikation ermöglichen

Sofern die Sensorik ihre Daten nicht bereits in einem Industrie 4.0-Format bereitstellt, übernehmen dies IIoT-Gateways oder Steuerungen/ Industrie-PCs (IPC), die diese Funktion integrieren.

Zu beachten ist hierbei, dass IIoT-Gateways nicht zwingend alle Sensorik-Kommunikationsformen unterstützen. Deshalb sollte auf der Basis der erforderlichen Sensorik das geeignete IIoT-Gateway ausgewählt werden.

Ferner sollte geprüft werden, ob das IIoT-Gateway die erforderlichen technischen Standards für eine sichere Kommunikation unterstützt.

#### 6. Datenplattform auswählen Betrieb sicherstellen

Datenplattformen befinden sich an zentraler Position und können bei steigender Datenmenge zu einem Engpass werden. Aus diesem Grund ist es ratsam, diese nach Möglichkeit skalierbar und erweiterbar aufzusetzen und zu halten. Je nach Anwendungsprozess kann ein Ausfall der Datenplattform dazu führen, dass z.B. Missstände nicht rechtzeitig erkannt werden oder Geschäftsentscheidungen auf veralteten Daten gefällt werden müssen. Liegen derartige Risiken bei einem Ausfall des Systems vor, so sollte für Redundanz und Ausfallsicherheit bei der Einrichtung gesorgt werden.

#### Betrieb im Unternehmen / beim Dienstleister

Grundsätzlich ist es möglich Datenplattformen im eigenen Unternehmen einzurichten, um so die Daten nicht nach außen geben zu müssen. Dies ist insbesondere von Bedeutung, wenn sich aus den erfassten Prozess- und Maschinendaten Rückschlüsse auf Geschäftsgeheimnisse wie z.B. Rezepte oder Designs ziehen lassen. Des Weiteren kann das System an die Bedürfnisse des Unternehmens angepasst und Abhängigkeiten zu Dienstleistern vermieden werden. Nachteilig ist zu erwähnen, dass die Einrichtung, der Betrieb sowie die Wartung und Absicherung derartiger Lösungen mit Expertise, Aufwand und Kosten verbunden sind, so dass dieser Ansatz zumeist nur für

größere Unternehmen wirtschaftlich umzusetzen ist. Cloud-basierte Lösungen von Dienstleistern dagegen bieten einen standardisierten Zugriff und lagern den Betrieb, die Wartung und die Absicherung der Lösung an einen Dienstleister aus. Dies ermöglicht es auch mittelständischen und kleineren Unternehmen Datenplattformen kosteneffizient einzusetzen. Da Cloud-Systeme zumeist skalierbar, erweiterbar und redundant konzipiert werden, kann das Unternehmen den Einsatz mit geringen Datenmengen testen und bei Bedarf entsprechend flexibel größere Kapazitäten buchen.

### 7. Visualisierung einrichten

Die Visualisierung der Sensordaten erfolgt in der Regel über Dashboards. Die zugrunde liegenden Applikationen können dabei auf dem gleichen System wie die Datenplattform betrieben oder aber auch auf einem separaten System eingerichtet werden.

Das Dashboard kann bei angemessener Risikobewertung und Verwendung von Sicherheitsmaßnahmen auch über das Internet erreicht werden und so eine ortsunabhängige Überwachung von Maschinen und Anlagen ermöglichen. Wird dies beabsichtigt, so ist die Kommunikation entsprechend abzusichern.

Der Vorteil einer web-basierten Lösung liegt in dem flexiblen Zugriff über unterschiedliche Endgeräte und Betriebssystem-Plattformen hinweg. So können sowohl Smartphones, Tablets als auch mobile sowie stationäre Computer auf die Dashboards zugreifen, sofern eine entsprechende Netzwerkverbindung vorliegt. Alternativ zu einer Weblösung bieten native Applikationen auf den Endgeräten zumeist mehr Funktionen und eine schnellere Reaktionszeit auf Anwendereingaben. Da es sein kann, dass Applikationen nur für bestimmte Betriebssystem-Plattformen (z.B. Android) bereitgestellt werden, ist die Flexibilität im Einsatz beschränkt. Manche Anbieter von Dashboard-Lösungen bieten sowohl den Webzugriff als auch den Zugriff via dedizierter Applikation an.

### 8. Zustandsüberwachung einrichten

#### Datenplattform oder nachgelagerte Systeme

Die Zustandsüberwachung kann direkt auf der Datenplattform oder nachgelagerten Systemen (z.B. ERP / MES) oder jeweils anteilig eingerichtet werden. Läuft die Zustandsüberwachung direkt auf der Datenplattform, so kann sie performant auf die Daten zugreifen und zusätzliche Systeme können vermieden werden. Sind die Sensor- und Analysedaten der Datenplattform mit Daten aus nachgelagerten Systemen zu verknüpfen, ist es ratsam zumindest diesen Teil der Zustandsüberwachung auf den nachgelagerten Systemen einzurichten und über die Schnittstellen der Datenplattform auf die benötigten Daten zuzugreifen.

#### Statistiken auswählen

Statistiken, die im Dashboard angezeigt werden, können eine erste Anlaufstelle für eine Bewertung des Anlagenzustandes sein. In Abhängigkeit zum Anwendungsfall muss hier gezielt selektiert werden, welche Kennwerte benötigt und angezeigt werden sollen. Beispiele hierfür sind:

- Soll- und Ist-Verhältnis der Einsatzzeiten
- Häufigkeit und Höhe der elektrischen Lastspitzen
- Produktionsmenge pro Stunde

#### Datenanalyseoptionen auswählen

Wenn einfache statistische Werte nicht ausreichen, um einen Zustand der Maschine zu beschreiben, können weiterführende automatisierte Auswertungen innerhalb der Zustandsüberwachung umgesetzt werden.

Diese Auswertungen können Prozessparameter überwachen und nach manuell eingestellten Grenzwerten Warn- oder Alarmmeldungen an die verantwortlichen Mitarbeiter senden. Dies kann zum Beispiel die Leistungsaufnahme sein, die bei starker Abnutzung von Maschinenteilen durch erhöhte Reibung zunimmt. Ein Blick auf die historischen Daten der erfassten Sensoren kann in diesem Beispiel aufzeigen, wie die Leistungsaufnahme steigt, bis es zu einem Maschinenstillstand kommt. Dieser verhältnismäßig einfache Zusammenhang kann mit einer warnenden Meldung bei Überschreitung eines

Grenzwertes gekoppelt werden. Hierdurch ist es dem Anlagenbetreiber möglich, bereits vor dem Maschinenstillstand zu reagieren und eine Wartung zu planen. Manche Anbieter von Applikationen zur Zustandsüberwachung ermöglichen auch einen automatisierten Vergleich bei zyklischen Arbeitsprozessen. Warnungen und Alarmlmeldungen werden so bei nicht mehr tolerierbaren Differenzen ausgelöst. Reichen die Analysefunktionen der Zustandsüberwachung nicht aus, besteht zumeist auch die Möglichkeit Daten zu exportieren und diese auf lokalen Computern mit spezialisierten Applikationen auszuwerten. Mit den aktuell am Markt verfügbaren Mitteln lässt sich bereits ein Großteil der Anwendungsfälle umsetzen. Die Herausforderung hierbei liegt in der Fachexpertise, die für die Auswahl der nötigen Analysewerkzeuge benötigt wird. Der Werkzeugkasten Informationsgenerierung aus dem VDMA-Leitfaden Sensorik kann hier eine Hilfestellung sein [2].

### 9. Intelligente Zustandsüberwachung einrichten

#### Solide Datenbasis für Lernverfahren

Falls einfache Auswerteverfahren bei komplexeren oder variableren Prozessen versagen, besteht die Möglichkeit diese Prozesse mit Verfahren des maschinellen Lernens zu erfassen. Als Basis dienen hierfür die erfassten Maschinendaten, die in möglichst hoher Zahl zur Verfügung stehen sollten. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Anzahl der Sensoren als auch hinsichtlich der zeitlichen Historie der Daten. Das Verfahren lernt dabei nicht nur die einzelnen Prozessschritte, sondern auch die Toleranzen, die bei einer normalen Ausführung auftreten können. Weiterführende Informationen können dem VDMA-Leitfaden Selbstlernende Produktionsprozesse entnommen werden [5].

#### Anwendungsfall Anomalie-Detektion

Bei der Anomalie-Detektion wird ein zyklischer Prozess in seiner ordentlichen Ausführung inklusive seiner Toleranzen gelernt und anschließend kontinuierlich beobachtet. Treten in einer späteren Ausführung Abweichungen zu den Toleranzen auf, werden diese als Anomalien detektiert und gemeldet. Mitarbeiter können dann mit ihrem Expertenwissen gezielt die

Anomalie untersuchen. Zu beachten ist, dass die verwendeten Daten zum Lernen die Maschine nach Möglichkeit im Idealzustand repräsentieren. Hat die Maschine bereits einen Defekt, wird auch dieser Defekt als Normalzustand erlernt. Auch wenn das Erlernen grundsätzlich automatisiert abläuft, so kann menschliches Expertenwissen einen deutlichen Mehrwert bei der Bewertung von detektierten Prozessanomalien schaffen.

#### Anwendungsfall Vorausschauende Wartung

Durch Abnutzung und Verschleiß müssen viele Maschinen in regelmäßigen Zyklen gewartet werden. Oft geschieht dies in zeitlichen Intervallen, die so kurz gewählt sind, dass ein Maschinenausfall möglichst unwahrscheinlich ist. Eine bedarfsgerechte Wartung ist nicht möglich, da der Wartungszustand der Maschine nicht bestimmbar ist. Sofern die Abnutzung und der Verschleiß nicht durch einfache Metriken in den Maschinendaten erkennbar sind, kommen maschinelle Lernverfahren zum Einsatz, die den Prozess nach einer Wartung erlernen. Anschließend werden automatisiert Tendenzen metrikenübergreifend gesucht. Sind diese unter Zuhilfenahme von Expertenwissen gefunden, können diese zur frühzeitigen Erkennung des Wartungsbedarfes verwendet werden. Auf diese Weise lässt sich die Anlage bedarfsgerecht und rechtzeitig warten.

### 10. Aktionen definieren und einrichten

Gewonnene Erkenntnisse aus den Sensordaten oder den darauf aufbauenden Analysen und Auswertungen können für unterschiedlichen Formen von automatisierten Aktionen verwendet werden.

#### Warn- und Alarmlmeldungen

Auf der Basis erkannter Grenzwertüberschreitungen oder im Falle einer erkannten Prozessanomalie können über die Datenplattform Alarme und Warnungen entweder persönlich an verantwortliche Mitarbeiter oder an nachgelagerte Systeme wie z.B. ERP- oder MES-Systeme verschickt werden. Meldungen dieser Art können auch eine erforderliche Wartung signalisieren und so einen ungeplanten Ausfall der Maschine verhindern.



#### **Neuartige datengetriebene Geschäftsmodelle**

Der Austausch von Maschinen- und Analyse-daten mit Geschäftspartnern ermöglicht unterschiedliche neue Geschäftsprozesse oder die Steigerung der Effizienz bestehender Prozesse. Wird Außenstehenden der Zugriff auf die Datenplattform gewährt, so ist zu gewährleisten, dass die Kommunikation gesichert erfolgt und nur auf die für den Prozess erforderlichen Daten durch den Geschäftspartner zugegriffen werden kann.

#### **Standby-Schaltungen**

Wird eine Inaktivität einer Maschine z.B. über eine geringe Leistungsaufnahme erkannt, kann die Maschine je nach Funktionalität in Standby geschaltet oder ausgeschaltet werden. Dies kann je nach Maschine zu signifikanten Einsparungen unter anderem des elektrischen Verbrauchs führen. Um die Zuverlässigkeit im Betrieb sicher zu stellen, darf diese Maßnahme die Maschine nicht negativ beeinflussen.

#### **Steuernder Eingriff**

Ein steuernder Eingriff kann z.B. für eine Prozessoptimierung verwendet werden. So kann eine nachgelagerte automatisierte Qualitätsprüfung Parametereinstellungen der Maschine überprüfen und ggf. in einem bestimmten Rahmen automatisiert anpassen. Voraussetzung hierfür ist eine Maschinensteuerung, die Eingabewerte verarbeiten kann. Da dieser Vorgang Einfluss auf den Prozess hat, ist auch die Maschinensteuerung gegebenenfalls anzupassen. Wenn Maschinen keine elektronische Steuerung aufweisen oder diese eine Verarbeitung von Eingabewerten nicht ermöglicht, ist ein Austausch der Steuerung im Sinne eines klassischen Retrofit erforderlich. Ein steuernder Eingriff erfordert zwangsläufig eine Neubewertung der Risiken, welche unter Umständen eine wesentliche Veränderung bedeuten könnten. Die dadurch entstehenden signifikanten Aufwände werden im folgenden Kapitel erläutert.

## Auswirkungen und Risiken eines Industrie 4.0-Retrofits

Eine technische Umsetzung eines Industrie 4.0-Retrofits kann je nach Ausprägung Einfluss auf die Betriebssicherheit der Maschine, den Datenschutz und weitere zu berücksichtigenden Faktoren haben. Dieses Kapitel dient dem Überblick über mögliche Abhängigkeiten.

### Betriebssicherheit

Durch den Austausch von veralteten Komponenten, dem Hinzufügen von neuen, zeitgemäßen technologischen Weiterentwicklungen, können bestehende Anlagen an Mehrwert gewinnen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass es sich bei der Veränderung einer Maschine um einen sicherheitsrelevanten Eingriff handeln kann.

Wird eine Maschine verändert, ist der Betreiber nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) verpflichtet, den sicheren Betrieb zu gewährleisten [6]. Der Betreiber einer Anlage trägt dafür Sorge, dass nur Arbeitsmittel bereitgestellt werden, die für den Arbeitsplatz geeignet sind und bei bestimmungsgemäßer Verwendung Sicherheit und Gesundheitsschutz für die Beschäftigten gewährleisten. Drei Vorschriften können im Fall eines Umbaus/Retrofit eine Rolle spielen [7]:

- 9. Verordnung zum ProdSG bzw. Maschinenrichtlinie (MRL 2006/42/EG) [8]
- Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [9]
- Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) [10]

Das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme von Maschinen wird durch die Maschinenrichtlinie geregelt. Durch die Maschinenrichtlinie werden auch gebrauchte Maschinen erfasst, die beim Umbau wesentlich verändert wurden. Solche Maschinen werden von der CE-Kennzeichnungspflicht erfasst. Der Verantwortliche für den Umbau hat Herstellerpflichten zu erfüllen,

wenn dieser zu einer wesentlichen Veränderung führt [8,11]. Die Verwendung von Maschinen wird vom Anwendungsbereich der Betriebssicherheitsverordnung erfasst [9]. Das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und die 9. Verordnung zum ProdSG setzen die Maschinenrichtlinie national um [8,11].

Beim Retrofit ist nach diesen Bestimmungen daher entscheidend, ob es sich bei dem Eingriff um eine sog. wesentliche Veränderung handelt. Klarer wird dieser Begriff durch die EU-Richtlinie „Blue-Guide“ beschrieben [11]:

„Ergibt die Risikobewertung, dass die Art der Gefahr sich geändert und das Risiko (Anm.: welches von der Maschine nach dem Umbau ausgehen würde) zugenommen hat, so muss das modifizierte Produkt wie ein neues Produkt angesehen werden [...]“

Abbildung 5 veranschaulicht nach welchen Fragestellungen entschieden wird, ob es sich um eine wesentliche Veränderung der Maschine handelt [12]. Strukturiert kann so beurteilt werden, ob bei einem geplanten Umbau eine wesentliche Veränderung vorliegt. Wenn eine Maschine wesentlich verändert wird, muss ein Konformitätsbewertungsverfahren gemäß den anzuwendenden Vorschriften durchgeführt werden. Hierbei ist zunächst das Vorliegen der nachfolgenden Kriterien zu überprüfen [7]:

- neue Gefährdung oder erhöhtes Risiko,
- Klärung der Relevanz und Anwendung von Richtlinien,
- Durchführung des Konformitätsbewertungsverfahrens, einschließlich der Risikobeurteilung (z.B. nach DIN EN ISO 12100),
- Erstellung der Betriebsanleitung,
- Klärung der Konformitätsbewertung für Maschinen des Anhangs IV der Maschinenrichtlinie,

- Durchführung der internen Fertigungskontrolle,
- Ausstellung der EU-Konformitätserklärung und Verpflichtung zur Anbringung der CE-Kennzeichnung an der Maschine.

Liegt dagegen keine wesentliche Veränderung vor, ist eine Wiederherstellung der Sicherheit nach Betriebssicherheitsverordnung durchzuführen.

### Datenschutz (DSGVO)

Das Datenschutzrecht als Ausdruck des Grundrechts auf informationelle Selbstbestimmung stellt an die Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Daten hohe Anforderungen. Grundsätzlich bedarf es der vorherigen Einwilligung der Betroffenen oder einer anderen gesetzlichen Ermächtigungsgrundlage. Allgemein spielt der Datenschutz immer dann

eine Rolle, wenn die erfassten Daten einen Personenbezug aufweisen [6]. Ein im besonderen Maße kritischer Fall im Kontext eines Industrie 4.0-Retrofit liegt vor, wenn im Rahmen der Anwendung ein Personenbezug unmittelbar oder retrospektiv hergestellt werden kann. Weitere Informationen zum Datenschutz können dem VDMA-Leitfaden Datenschutz und Industrie 4.0 entnommen werden [13].

### Mitbestimmungsrechte des Betriebsrates

Die Zustimmung des Betriebsrates ist einzuholen, wenn Änderungen im Kontext eines Industrie 4.0-Retrofit dazu führen, dass eine Überwachung des Verhaltens oder der Leistung der Mitarbeiter direkt oder indirekt ermöglicht wird (BetrVG § 87 [14]).

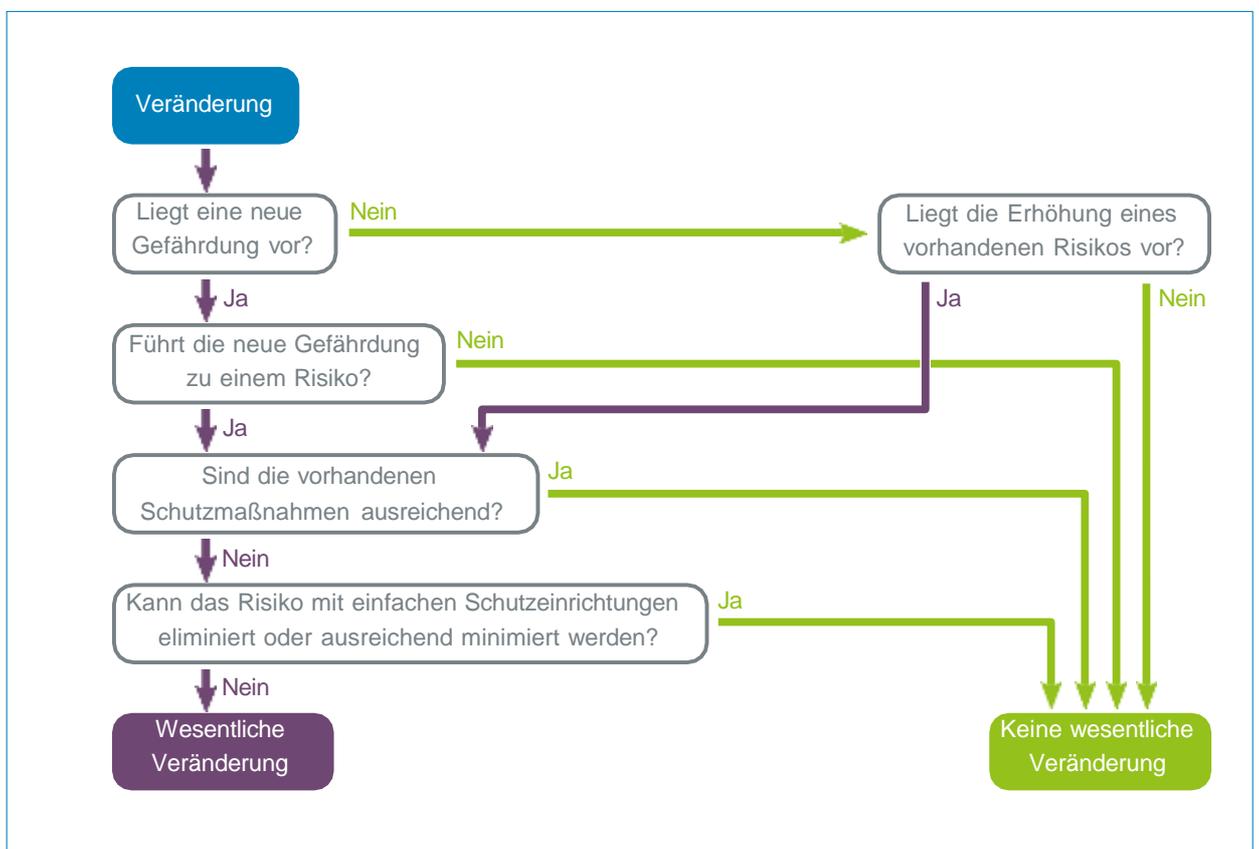


Abbildung 5: Ablaufschema zur Entscheidung, ob wesentliche Veränderungen an einem Gerät durchgeführt wurden [12]

### Berücksichtigungen bei Funkanlagen

Lösungsanbieter für Industrie 4.0, die Funkanlagen zur Kommunikation oder Ortung in ihren Geräten verwenden, müssen vor der Vermarktung die Konformität zur Richtlinie über Funkanlagen prüfen [15]. Die Richtlinie schreibt Herstellern von Funkanlagen im Wesentlichen vor, die folgenden Aspekte sicher zu stellen:

- Schutz der Gesundheit und Sicherheit von Menschen, Haus- und Nutztieren sowie der Schutz von Gütern einschließlich der in der Richtlinie 2014/35/EU [16] enthaltenen Ziele in Bezug auf die Sicherheitsanforderungen, jedoch ohne Anwendung der Spannungsobergrenze.
- Erfüllung eines angemessenen Niveaus an elektromagnetischer Verträglichkeit gemäß Richtlinie 2014/30/EU [17].
- Funkanlagen müssen so gebaut sein, dass sowohl eine effektive Nutzung von Funkfrequenzen erfolgt, als auch eine Unterstützung zur effizienten Nutzung von Funkfrequenzen gegeben ist, damit keine funktechnischen Störungen auftreten.
- Besondere Anforderungen, die durch die Kommission festgelegt werden können, z.B. bzgl. Zubehör (z.B. Ladegeräte), etc.

Wenn Funkanlagen in vorhandene Maschinen integriert werden, so kann gemäß der VDMA-Information zur Funkanlagenrichtlinie [18] festgestellt werden, ob eine Prüfung der Konformität der Gesamtanlage erforderlich ist.

Anwender von Funkanlagen müssen lediglich sicherstellen, dass die einzusetzenden Geräte konform zu der Richtlinie über Funkanlagen sind. Dies lässt sich über die dokumentierte CE Prüfung bzw. einer entsprechenden EU-Konformitätserklärung am Produkt oder innerhalb der Verpackung nachvollziehen.

### Steuernder Eingriff durch Industrie 4.0-Retrofit

Wird eine Maschine durch eine Industrie 4.0-Retrofit-Maßnahme derart erweitert, dass Erkenntnisse auf der Datenplattform steuernd auf die Maschine einwirken können, so ist dies mit Risiken verbunden. Oftmals handelt es sich um eine wesentliche Veränderung der Maschine und bedarf einer Neubewertung der Betriebssicherheit. Auch wenn der Umfang der Einflussnahme mit geringem Risiko verbunden ist, sollte berücksichtigt werden, dass die Kommunikation mit Datenplattformen im Allgemeinen nicht deterministisch erfolgt. Sind zeitkritische Anpassungen an der Maschine erforderlich, ist eine zeitgemäße Reaktion durch die Datenplattform oder einer Zustandsüberwachung nicht gewährleistet.

## Anwendungsbeispiele

An theoretischen und auch praktischen Umsetzungen von Industrie 4.0-Retrofit in Groß- und Kleinunternehmen soll die Vorgehensweise verdeutlicht werden. Die Beispiele zeigen Umsetzungen aus Sicht der Produktion, des Anlagenbaus sowie des Industrie 4.0-Retrofit Lösungsanbieters.

### Beispiel 1: Aus der Sicht der halb-automatischen Produktion

Am Produktionsstandort von Bosch Rexroth in Erbach werden Bleche für unterschiedliche Produkte gefertigt und verarbeitet. Für die exemplarische Umsetzung eines Industrie 4.0-Retrofit wurde eine PEMSERTER 2000 Einpressmaschine des Herstellers Penn-Engineering ausgewählt.

#### Einpressautomat

Der Einpressautomat dient der Verbindung von unterschiedlichsten Einpressstücken (z.B. Gewinde) mit Blechen. Er wird von einem Mitarbeiter bedient. Einpressstücke werden teilweise automatisiert zugeführt und teilweise manuell platziert. Dies ist abhängig von der Beschaffenheit und der Menge der eingesetzten unterschiedlichen Einpressteilearten. Da die Maschine von einem Mitarbeiter bedient wird, muss sichergestellt sein, dass durch den Retrofit erfasste Daten nicht zur Leistungsbeurteilung der Mitarbeiter herangezogen werden. Alternativ ist eine Genehmigung des Betriebsrates einzuholen.

#### Bedarf ermitteln

Bosch Rexroth hat an dem Standort Erbach mehrere dieser Einpressautomaten mit jeweils unterschiedlichem Alter im Einsatz. Die Zuverlässigkeit der Maschinen ist dabei nicht gleich. Durch eine Erfassung des Betriebszustandes ließen sich zum einen Maschinen mit erhöhter Ausfallstatistik identifizieren oder Ausfallmuster bestimmen, die auf mögliche Ursachen schließen lassen. Mit diesem Wissen können Maschinen ggf. ausgetauscht oder gezielte Wartungs-



Abbildung 6: Einpressautomat

maßnahmen beauftragt werden. Zusätzlich ist eine Erfassung der Durchlaufzeiten pro Fertigungsteil und Maschine interessant. Diese Daten können zur Vermeidung der Leistungsbewertung der Mitarbeiter z.B. über mehrere Arbeitsschichten hinweg erfasst und nur gemittelt zur Verfügung gestellt werden.

#### Daten generieren

In diesem Anwendungsbeispiel wurde das Produktionsdatenerfassungssystem INAsense des Fraunhofer IOSB-INA für die Datenerhebung verwendet. Mit diesem wurden die folgenden Maschinendaten über einen Zeitraum von mehreren Stunden erfasst:

- Elektrische Leistung der Maschine (siehe Abbildung 11)
- Bewegungsablauf des Einpressvorganges durch einen Beschleunigungssensor
- Temperatur am Einpresspunkt mittels eines optischen Pyrometers

Die Sensoren wurden temporär über 3D-gedruckte Halterungen oder Fixiermittel angebracht. Abbildung 7 zeigt die Anbringung. Das INAsense-System enthält alle erforderlichen Komponenten, um die Daten geordnet zu erfassen, mittels OPC UA zu übertragen, sie in einer Zeitseriendatenbank abzulegen und sie mit einer geräteunabhängigen browserbasierten Visualisierung auszuwerten. Eine Internetkonnektivität seitens Bosch Rexroth war aus diesem Grund für die Messreihen nicht erforderlich.

#### Live Daten anzeigen

Industrielle analoge Sensoren sowie das Leistungsmessgerät wurden an die integrierte SPS des INAsense-Systems angeschlossen, die als OPC UA Server die Daten einem eingebauten Computer zur Verfügung stellte. Auf dem Computer arbeitet ein OPC UA Client, der die empfangenen Daten in eine Zeitseriendatenbank importiert. Sensoren, die eine USB- oder Ethernet-Schnittstelle mit einem proprietären Übertragungsprotokoll verwenden, wurden direkt an einen Computer geschlossen

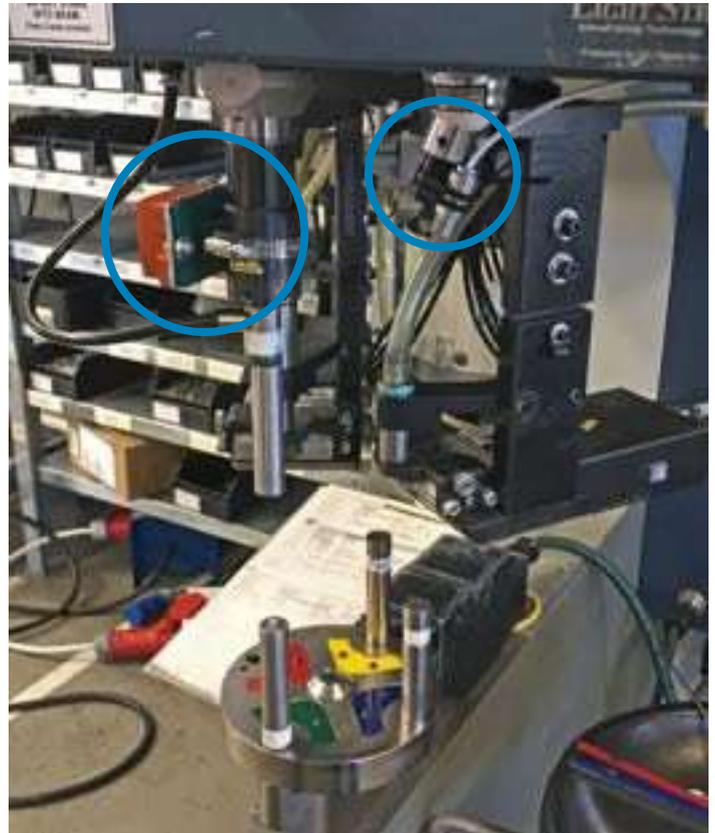


Abbildung 7: Anbringung des Beschleunigungssensors und des Pyrometers

und entweder direkt oder im Nachgang zeitgestempelt in die eben thematisierte Datenbank importiert. Die Visualisierung übernimmt eine web-basierte Plattform, die ebenfalls auf dem Computer eingerichtet ist.



Abbildung 8: Zustandsüberwachung mittels Bewegungserfassung (Ruhewert der Beschleunigung ist die Erdbeschleunigung)

**Zusammenhänge / Kausalitäten verstehen**

Abbildung 8 zeigt die in Anspruch genommene Leistung sowie die Beschleunigung des Pressstempels in vertikaler Richtung. Ob die Maschine verwendet wird oder sie sich im Leerlauf befindet, kann über die Beschleunigungswerte gut erkannt werden. Genutzt werden können die Beschleunigungswerte, um den Nutzungs- und

Auslastungsgrad der Maschine zu bestimmen. Die Leistungswerte variieren und eignen sich daher nicht zur einfachen Bestimmung des Anlagenzustands. Wenn Statistiken zum Anlagenzustand interessant sind, müssen geeignete Anonymisierungsverfahren angewandt werden, die eine Leistungsbestimmung des einzelnen Maschinenanwenders ausschließen.



Abbildung 9: Pressvorgänge mit und ohne manueller Handeingriff (Ruhewert der Beschleunigung ist die Erdbeschleunigung)



Abbildung 10: Abstandskalibrierung nach Produktwechsel



Abbildung 11: Die Leistungsmessung erfolgte über das im INAsense integrierte Leistungsmessgerät

Abbildung 9 zeigt reguläre Pressvorgänge. Der obere Teil verdeutlicht den Zusammenhang zwischen temporärer Leistungszunahme und entsprechenden Bewegungsmuster des Pressstempels. Der untere Bereich zeigt die Temperatur am Presspunkt. Wird ein Einpressstück automatisiert zugeführt, so erhöht sich die Temperatur durch den Pressvorgang nur minimal. Wird das Einpressstück jedoch manuell in Position gebracht, so führt dies zu einer kurzfristigen deutlichen Erhöhung der Temperatur. Auf diese Art ließen sich Analysen erstellen, die den Anteil manueller Arbeitsschritte pro Werkstückart ermitteln lassen.

Abbildung 10 stellt zwei Ausführungen einer Abstandskalibrierung dar. Diese wird nach einem Produktwechsel durchgeführt, um die Dicke des Werkstücks zu bestimmen. Wird etwas dickeres, z.B. ein Finger, in den Pressbereich gelegt, so erkennt die Pressmaschine den Höhenunterschied und baut keine Kraft auf. Beim Messvorgang wird keine Kraft aufgewandt, so dass eine temporäre Leistungsreduktion ersichtlich wird. Auf diese Art ließen sich Produktwechsel nachvollziehen. Sofern sich ein anderer Mechanismus zur Erkennung nutzen lässt, ließe sich überprüfen, ob diese Schutzmaßnahme stets durchgeführt wurde.

Abbildung 12 verdeutlicht den Unterschied des Beschleunigungsverhaltens des Pressstempels bei einem regulären Pressvorgang im Vergleich zu einem provozierten Fehlerfall. Die Abbildung enthält hierzu zwei Datenlinien, von denen die gelbe zur Veranschaulichung zeitlich versetzt wurde. Man erkennt einen signifikanten Unterschied im Schwingungsverhalten. Diese Muster ließen sich durch Verfahren des maschinellen Lernens trainieren und über den langfristigen Betrieb hinweg erkennen.

#### Kosten

Für eine dauerhafte Installation der verwendeten Messhardware sind Kosten zwischen 10-20 TEUR zu veranschlagen. Nicht enthalten ist die Dienstleistung der Datenanalyse. Eine Datenplattform wird vorausgesetzt.

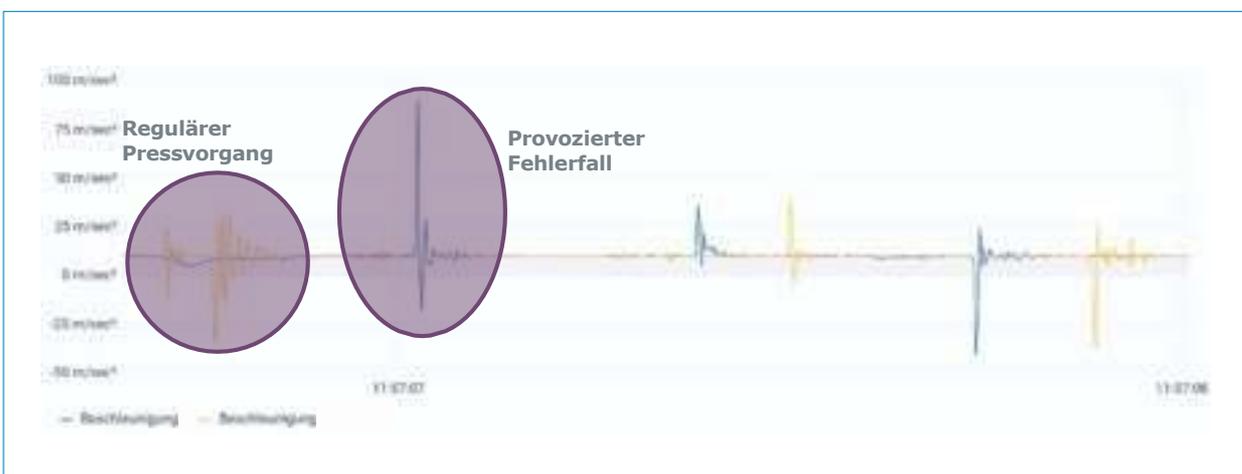


Abbildung 12: Unterschiede im Bewegungsmuster bei regulären Pressvorgang und provozierten Fehlerfall (dargestellt durch einen Zeitversatz der gelben Datenlinie)

### Beispiel 2: Aus der Sicht der automatisierten Produktion

Die Friedrichs & Rath GmbH fertigt Kunststoffteile für unterschiedliche Anwendungsfelder jedoch mit einem Fokus auf den Automotive-Bereich. Hierfür stehen am Standort Extertal über 60 Spritzgussmaschinen zur Verfügung, die je nach Auslastung zeitgleich arbeiten und bei überlagernden Prozesszyklen zu kurzfristigen elektrischen Leistungsspitzen und teilweise zu starken Vibrationen im Boden führen. Es besteht die Gefahr, dass diese Vibrationen langfristig zu Schäden am Gebäude führen können und aufwendige Automatisierungen stören.

#### Bedarf ermitteln

Friedrichs & Rath würde gerne den Maschinenpark so ansteuern, dass sowohl der Energieverbrauch als auch die erzeugten Vibrationen minimiert werden. Dies setzt voraus, dass das Energie- als auch Vibrationsverhalten aller Maschinen über den Prozesszyklus hinweg bekannt ist. Zudem ist es für das Unternehmen von Interesse, Schäden an der Maschine oder am Werkzeug frühzeitig zu erkennen.

#### Daten generieren

Für eine exemplarische Evaluierung des Vorgehens kam das Produktionsdatenerfassungssystem INAsense des Fraunhofer IOSB-INA an einer Spritzgussmaschine aus dem Jahre 2003 zum Einsatz (siehe Abbildung 13). Mittels Stromsensoren wurde die Leistung der Maschine erfasst. Diese wurden im Schalt-



Abbildung 13: Spritzgussmaschine

schränk um die jeweiligen Anschlussleitungen herumgelegt. Für die Erfassung des Vibrationsverhaltens wurden zwei Beschleunigungssensoren an der Außenseite der Maschine angebracht. Mit den beiden Sensoren wurden unterschiedliche Zielstellungen verfolgt. Mit einem Sensor wurde das quadratische Mittel der Beschleunigung pro Sekunde erfasst. Dieses dient als Maß für die Gesamtintensität der Schwingungen pro Sekunde. Der zweite Sensor erfasste Beschleunigungen in allen

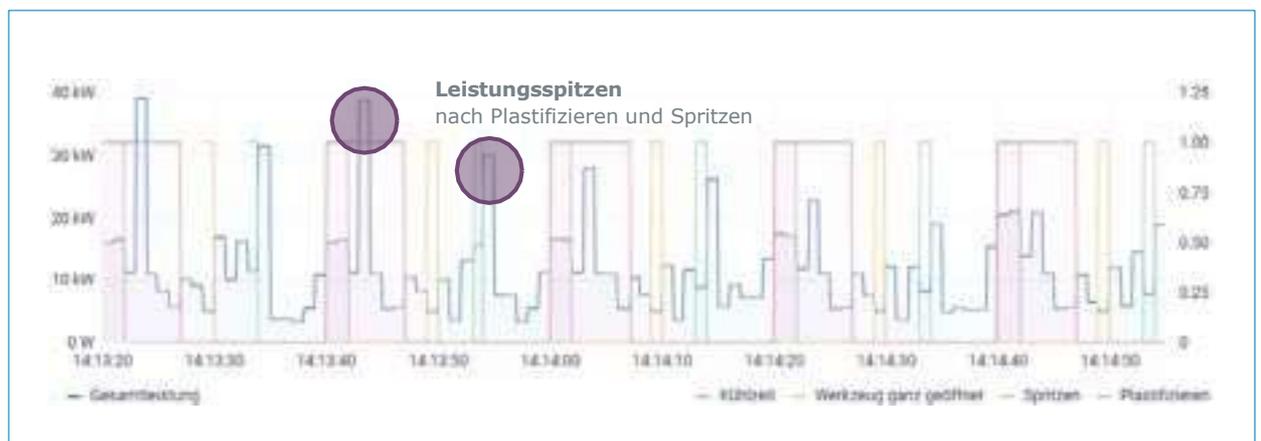


Abbildung 14: Erfassung der Gesamtleistung mit Zuordnung der Arbeitsphasen der Spritzgussmaschine

Richtungen und Drehachsen mit einer Datenlieferate von 2 kHz. Diese Daten dienen der Analyse des Schwingverhaltens bis max. 1 kHz. Die momentanen Arbeitszustände der Maschine konnten aus einer Relais-basierten I/O-Schnittstelle ausgelesen werden.

#### Live Daten anzeigen

Die I/O- und Leistungsdaten wurden über eine im Produktionsdatenerfassungssystem INAsense integrierten SPS erfasst und mittels OPC UA an die ebenfalls integrierte Datenplattform kommuniziert. Gleiches gilt für die Beschleunigungsdaten, welche die Intensität pro Sekunde abbilden. Über eine Browser-schnittstelle konnten die erfassten Daten sofort eingesehen werden. Die Beschleunigungsdaten mit der erhöhten Datenrate wurden direkt auf dem Computer im INAsense erfasst, der die Datenplattform enthält. Diese mussten nach der Messung zunächst ausgewertet werden, bevor sie sinnvoll visualisiert werden konnten.

#### Zusammenhänge / Kausalitäten verstehen

Abbildung 14 zeigt die wechselnden Arbeitszustände der Spritzgussmaschine in Relation zu ihrer jeweiligen Gesamtleistung. Zu erkennen sind Leistungsspitzen unmittelbar nach dem

Plastifizieren sowie nach dem Spritzen. Abbildung 16 zeigt die intensivste Beschleunigung des Schwingverhaltens in den Arbeitsphasen Plastifizierung und Kühlzeit. Sollte es zu einem späteren Zeitpunkt möglich sein, die Maschinen in dem Maschinenpark präzise auszusteuern, sind diese Informationen essentiell für eine Minimierung von elektrischer Leistung und Schwingungsintensität.

Da während der Messreihe ein Defekt am Werkzeug auftrat, wurde das Schwingungsverhalten mit den Daten des Beschleunigungssensors mit der höheren Datenrate ausgewertet und auf Tendenzen im Schwingungsverhalten untersucht. Es fiel dabei auf, dass die Intensitäten der Schwingungen im Frequenzbereich 471-472 Hz im Messzeitraum bis auf eine Ausnahme stetig stiegen und kurz vor Ausfall der Maschine ihren Höhepunkt aufzeigten. Abbildung 15 verdeutlicht mit Stichpunkt-daten den Anstieg der Intensität über die Zeit. In einem zweiten Schritt wurden die Beschleunigungsdaten auf diesen Frequenzbereich gefiltert, um die Schwingung selektiv einer Arbeitsphase zuzuordnen zu können. Abbildung 17 zeigt die gefilterte Darstellung im Dashboard der Datenplattform. Es ist zu erkennen, dass die

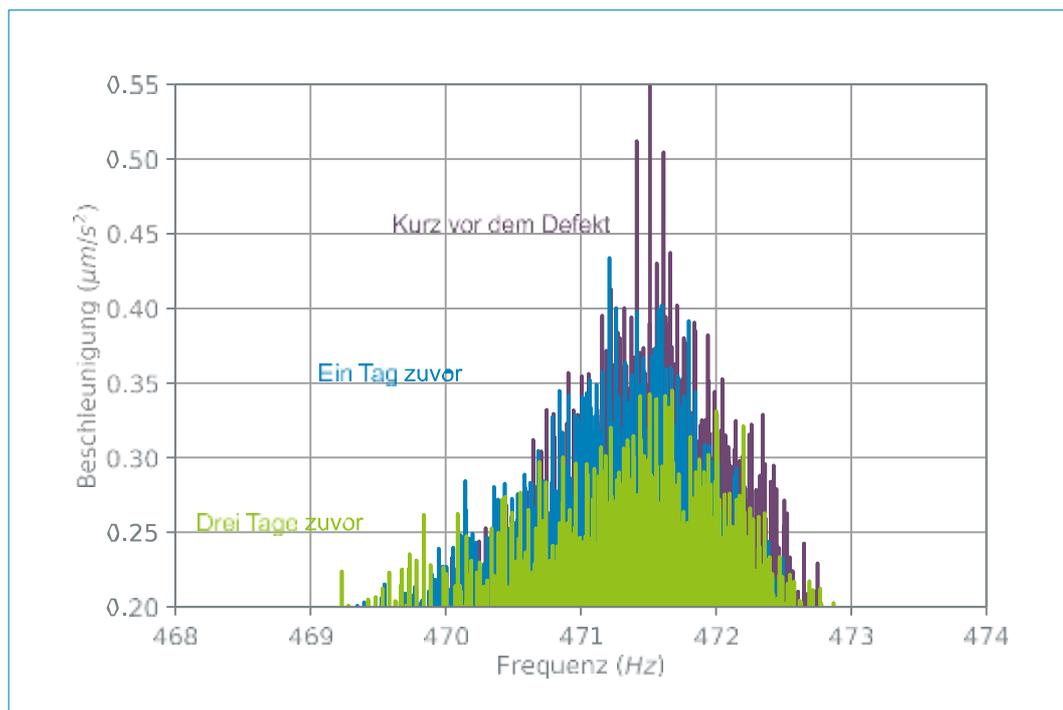


Abbildung 15: Anstieg der Beschleunigung im Frequenzbereich 468 – 474 Hz bis zum Defekt

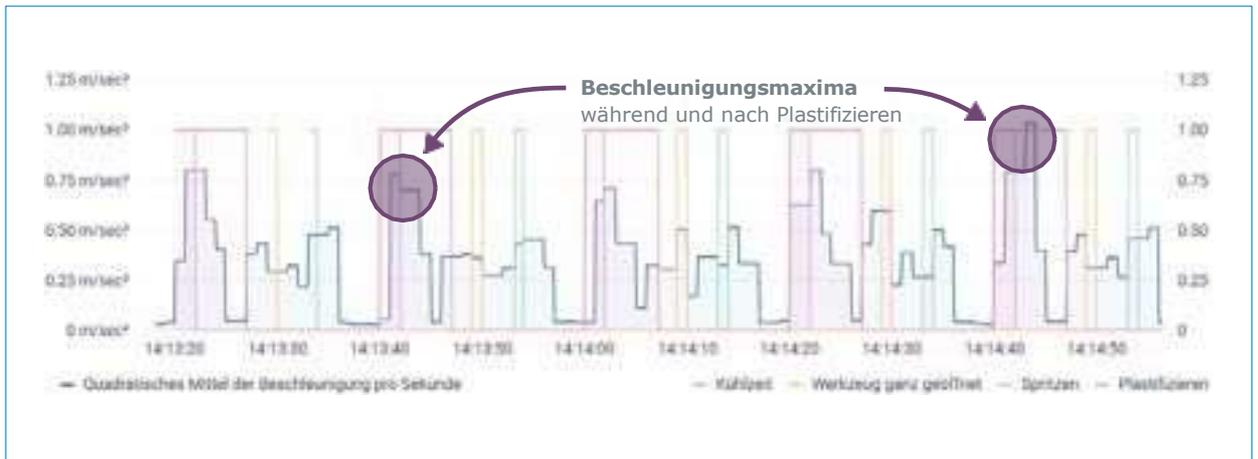


Abbildung 16: Erfassung der Beschleunigung mit Zuordnung der Arbeitsphasen der Spritzgussmaschine

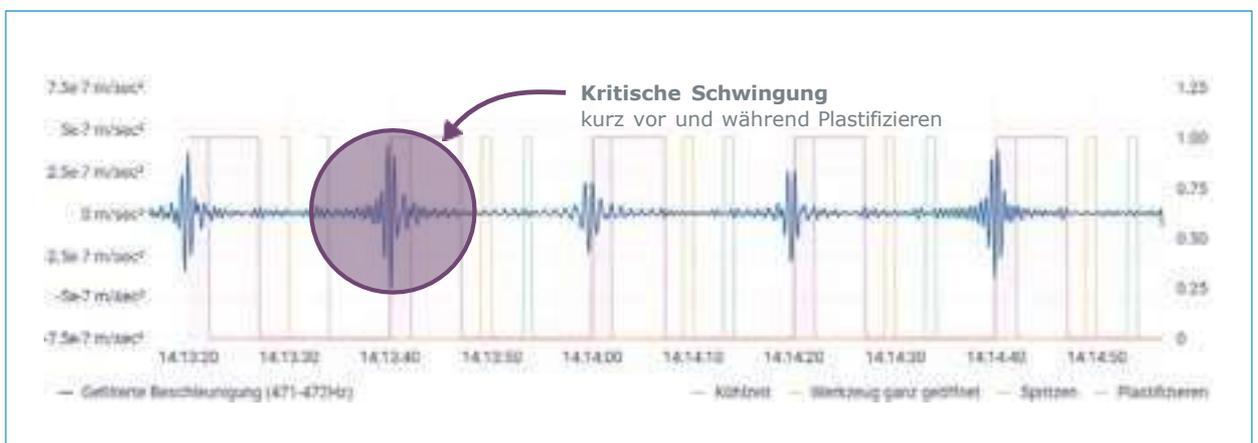


Abbildung 17: Gefilterte Beschleunigung mit Zuordnung der Arbeitsphasen der Spritzgussmaschine

selektive Schwingung unmittelbar vor bzw. während der Plastifizierung auftrat. Sollte es sich hierbei um eine systematische Schwachstelle im Werkzeug handeln, so könnten sich bei steter Untersuchung dieses Frequenzbereiches Schäden am Werkzeug vorzeitig erkennen lassen.

#### Kosten

Für eine dauerhafte Installation der vorgeschlagenen zusätzlichen Messhardware inkl. einer Schwingungsanalyse zur Identifikation signifikanter Frequenzanteile sind Kosten zwischen 10-20 TEUR zu veranschlagen. Eine Datenplattform wird vorausgesetzt.



Abbildung 18: Regalbediengerät mit erneuerter Steuerung, Sensorik und Aktorik

### Beispiel 3:

#### Aus der Sicht des Anlagenbaus

Bei dem im Folgenden beschriebene Anwendungsfall für einen Industrie 4.0-Retrofit handelt es sich um eine theoretische Betrachtung aus der Sicht eines Anlagenbauers. Die Firma Anlagenbau Habeck GmbH & Co. KG (kurz: Habeck) hat in der Vergangenheit einen klassischen Retrofit bei einem Kunden der Lebensmittelindustrie für ein Regalbediengerät (RBG) durchgeführt. Dieses RBG ist in Abbildung 18 schematisch dargestellt. Dabei wurden zum einen alte Komponenten durch neue ausgetauscht. Zum anderen wurden Funktionen hinzugefügt, die die Bedienung erleichtern und den Anwender unterstützen. So wurden beispielsweise Kameras und Lichtschranken hinzugefügt, um kritische Bereiche bei der Platzierung und des Greifens von Lagergütern immer im Blick zu haben und Lastüberhänge zu vermeiden. Ein Retrofit dieses Regalbediengerätes aus dem Jahre 1992 lag nahe, da ein Austausch größere Umbaumaßnahmen am Gebäude erforderte und die Kosten entsprechend wesentlich höher ausfallen würden. Eine Anforderung war schon damals, dass OEE-Daten (z.B. Laufzeiten von Transportaufträgen, etc.) über die Steuerung der SPS und eine zusätzliche Visualisierung für den Bediener abrufbar sind.

#### Bedarf ermitteln

OEE-Daten werden bereits erfasst und auf einem Industrie-Panel dargestellt. Diese Daten werden von einer modernen Steuerung erfasst und bereitgestellt. Diese Steuerung unterstützt bereits OPC UA, verwendet dies jedoch noch nicht. In einem ersten Schritt könnte man die OEE-Daten und Auswertungen hierauf auf einer Datenplattform einem größeren Kreis an Mitarbeitern selektiv und geräteneutral über eine Webschnittstelle zur Verfügung stellen. Auf diese Art erhält die Geschäftsführung die gleiche Transparenz wie der Mitarbeiter. Ein weiterer Anwendungsfall wäre die vorausschauende Wartung. Werden Daten der Motoren erfasst, die einen Verschleiß von Kugellager oder anderen Komponenten andeuten, kann Habeck eine Wartung proaktiv anfragen und einem Schaden zuvorkommen. In der Vergangenheit wurde i.d.R. eine Wartung erst beauftragt, wenn ein Schaden bereits aufgetreten ist. Die voraus-

schauende Wartung vermeidet Stillstände, ermöglicht effiziente Wartungen mit wenig Aufwand.

#### **Daten generieren**

Der grundsätzlichen Anlagenzustand ließe sich aus den OEE-Daten der Anlagensteuerung extrahieren. Die Verschleißerkennung für die vorausschauende Wartung könnte über die folgenden Sensoren umgesetzt werden:

- OEE-Daten der Steuerung  
Werden Fahrten z.B. im Schnitt langsamer, kann dies auf einen Verschleiß deuten.
- Leistungsmessung der Gesamtanlage  
Ein erhöhter Leistungsverbrauch deutet auf höhere Reibung oder generellen Verschleiß hin.
- Vibrations- und Schwingungssensoren an den Motoren  
Sowohl über die Intensität als auch über die dominanten Frequenzen der jeweiligen Motoren können Rückschlüsse über ihren Zustand gewonnen werden.

#### **Live Daten anzeigen**

Da die mittlerweile verbaute industrielle Steuerung OPC UA unterstützt, liegt es nahe die zusätzlichen Sensoren an diese anzuschließen und die OEE-Daten zusätzlich zu den neuen Sensordaten an eine Datenplattform inkl. Visualisierung zu kommunizieren. Die Daten und Auswertungen können dann seitens des Kunden Habeck zur Verfügung gestellt werden, welcher daraufhin einen Alarm nach bestimmten Kriterien spezifiziert.

#### **Zusammenhänge / Kausalitäten verstehen**

Leistungsdaten der Anlage können für die Optimierung von Bewegungsabläufen oder der Überprüfung von Maßnahmen zur Energieeinsparung verwendet werden. Auf der Basis der Schwingungsdaten der Motoren ließen sich Lagerschäden oder Abnutzungserscheinungen ableiten. Das System könnte Habeck automatisiert benachrichtigen und eine Wartung starten.

#### **Kosten**

Für eine dauerhafte Installation der vorgeschlagenen zusätzlichen Messhardware inkl. einer Schwingungsanalyse zur Identifikation signifikanter Frequenzanteile der Motoren sind Kosten zwischen 10-20 TEUR zu veranschlagen. Eine Datenplattform wird vorausgesetzt.

**Beispiel 4:**  
**Aus der Sicht eines Lösungsanbieters**  
**für Industrie 4.0-Retrofit**

3d Signals hat bei ihrem Kunden der SAMSON AG in Frankfurt am Main einen Industrie 4.0-Retrofit an einer Vielzahl unterschiedlicher Maschinen durchgeführt. Die Umsetzung wird im Folgenden exemplarisch anhand einer Heller H 5000 Maschine gezeigt.

3d Signals setzt auf eine einheitliche eigenentwickelte Hard- und Softwarelösung, die generisch auf alle Maschinen und Produktionsanlagen anwendbar ist. Um möglichst zeiteffizient größere Mengen an Maschinen auszurüsten, werden eventuell verfügbare Daten und Industrie 4.0-Optionen der individuellen Maschinen nicht berücksichtigt. Alter, Hersteller oder Art der Steuerung der jeweiligen Maschine ist für den Ansatz von 3d Signals daher nicht entscheidend. Aus der Sicht des Lösungsanbieters ist dies vorteilhaft, da eine maschinenindividuelle Schnittstelle trotz standardisierter Protokolle durchaus mehr Aufwand bedeuten kann, als eine einheitliche und erprobte Lösung einzurichten. Aus Sicht des Maschinenbetreibers ergibt sich der Vorteil, einen Brownfield-Maschinenpark mit einem einzigen Business Intelligence-Tool visualisieren zu können.

**Bedarf ermitteln**

Ziel des Retrofits bei SAMSON war es, Transparenz über Maschinenzustände von ganzen Produktionsstätten zu schaffen und Maschinen zu identifizieren, dessen Effizienz Verbesserungspotentiale aufweisen. Zu erfassende Anlagenzustände waren

- Produktion
- Leerlauf
- Ausgeschaltet

**Daten generieren**

Für die Erfassung der Maschinenzustände wurden bei SAMSON die elektrische Leistung mittels Stromsensoren und die Schwingungsintensität mittels Vibrationssensoren erfasst. Abbildung 19 zeigt die exemplarische Anbringung der Sensoren an der H 5000 von Heller. Alle verwendeten Sensoren sind zusätzlich und nicht invasiv angebracht. So erfolgte die Strommessung über induktive Stromwandler, die die

Versorgungsleitungen der Maschine umschließen. Die Vibrationssensoren wurden außen an einer unproblematischen Stelle angeklebt. Alle Sensoren wurden je Maschine an eigene IIoT-Gateways mit der Bezeichnung dEdge angebunden. Dieses Gateway verbindet sich über eine Internetverbindung mit der proprietären Cloud-Lösung dView. Übertragen werden Zustandsinformationen oder bei Bedarf auch Rohdaten.



Abbildung 19: Anbringung des Vibrationssensors, des Stromwandlers und des dEdge

### Live Daten anzeigen

Die Cloud-Lösung dView (siehe Abbildung 20) speichert und analysiert die Daten der dEdge und interpretiert die entsprechenden Maschinenzustände. Alle Daten stehen unmittelbar zur Verfügung. Zusätzlich erlaubt sie statistische Auswertungen wie z.B. der Maschinenauslastung für einzelne Maschinen oder ganze Maschinenparks.

### Zusammenhänge / Kausalitäten verstehen

Die Cloud-Lösung von 3d Signals ermöglicht SAMSON Maschinenzustände zu protokollieren und statistisch aufzubereiten. Dies schafft Transparenz, wie die Maschine wertschöpfend genutzt wird. Wird die Lösung auf alle Maschinen ausgerollt, können verlustgenerierende Maschinen erkannt und Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung gezielt eingeleitet werden.

### Kosten

Für die Lösung von 3d Signals wären jährliche Kosten zwischen 2.400 EUR – 3.600 EUR pro Maschine zu veranschlagen, wobei Großprojekte auf speziellen Kosten und Konditionen basieren können.

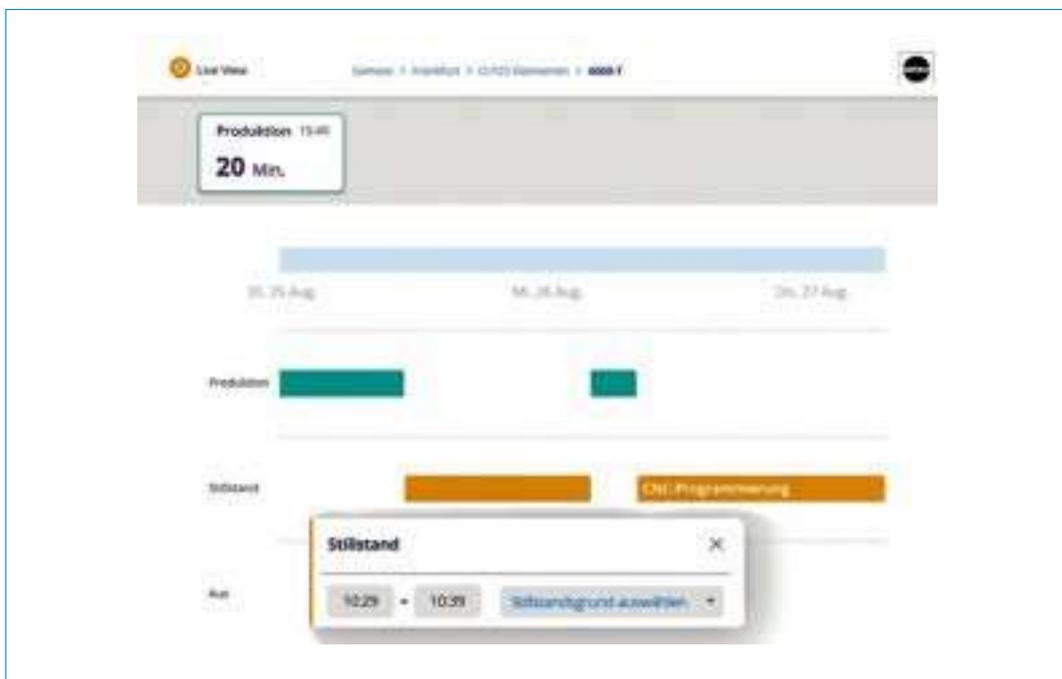


Abbildung 20: Visualisierung der Maschinenzustände einer spezifischen Maschine in der dView Cloud Applikation

**Beispiel 5:  
Aus der Sicht eines Lösungsanbieters  
für Industrie 4.0-Retrofit**

Die SH-Tools GmbH hat einen Industrie 4.0-Retrofit an einem kritischen Ventilator eines Spanplattenwerks realisiert. Grund hierfür war der wiederholende Ausfall des Ventilators nach nur geringen Einsatzzeiten. Da die Ursache des Ausfalls nicht bestimmt werden konnte, sollte eine Zustandsüberwachung Klarheit schaffen und Probleme im Betrieb frühzeitig aufzeigen. SH-Tools setzt dabei auf eine eigenentwickelte Lösung, die herstellerunabhängig auf alle Maschinen und Produktionsanlagen anwendbar ist.

**Bedarf ermitteln**

Ziel des Industrie 4.0-Retrofit war es, die Lebensdauer des Ventilators zu erhöhen und die Ursachen zu bestimmen. Dabei war das Schwingverhalten sowie der Temperaturverlauf in Relation zur Drehzahl interessant.

**Daten generieren**

Für die Erfassung der Daten wurden verschiedene am Markt verfügbare Sensoren benutzt.

- 3 x Vibration (1 x Motor, 2 x Ventilator)
- 2 x Temperatur (1 x Motor, 1 x Ventilator)
- Drehzahl

Abbildung 21 zeigt die Anbringung der Sensoren an dem Ventilator. Alle verwendeten Sensoren sind zusätzlich angebracht und mit der eigenentwickelten ToolBox 4.0 von SH-Tools verbunden. Die ToolBox 4.0 fungiert als IIoT-Gateway und übermittle die Sensordaten an die ebenfalls von SH-Tools bereitgestellte Cloud-basierte Datenplattform Moni-tool. Die Messdaten werden im Sekundentakt über eine WLAN-basierte Internetverbindung übertragen. Die Übermittlung erfolgt auf Basis einer REST-API.

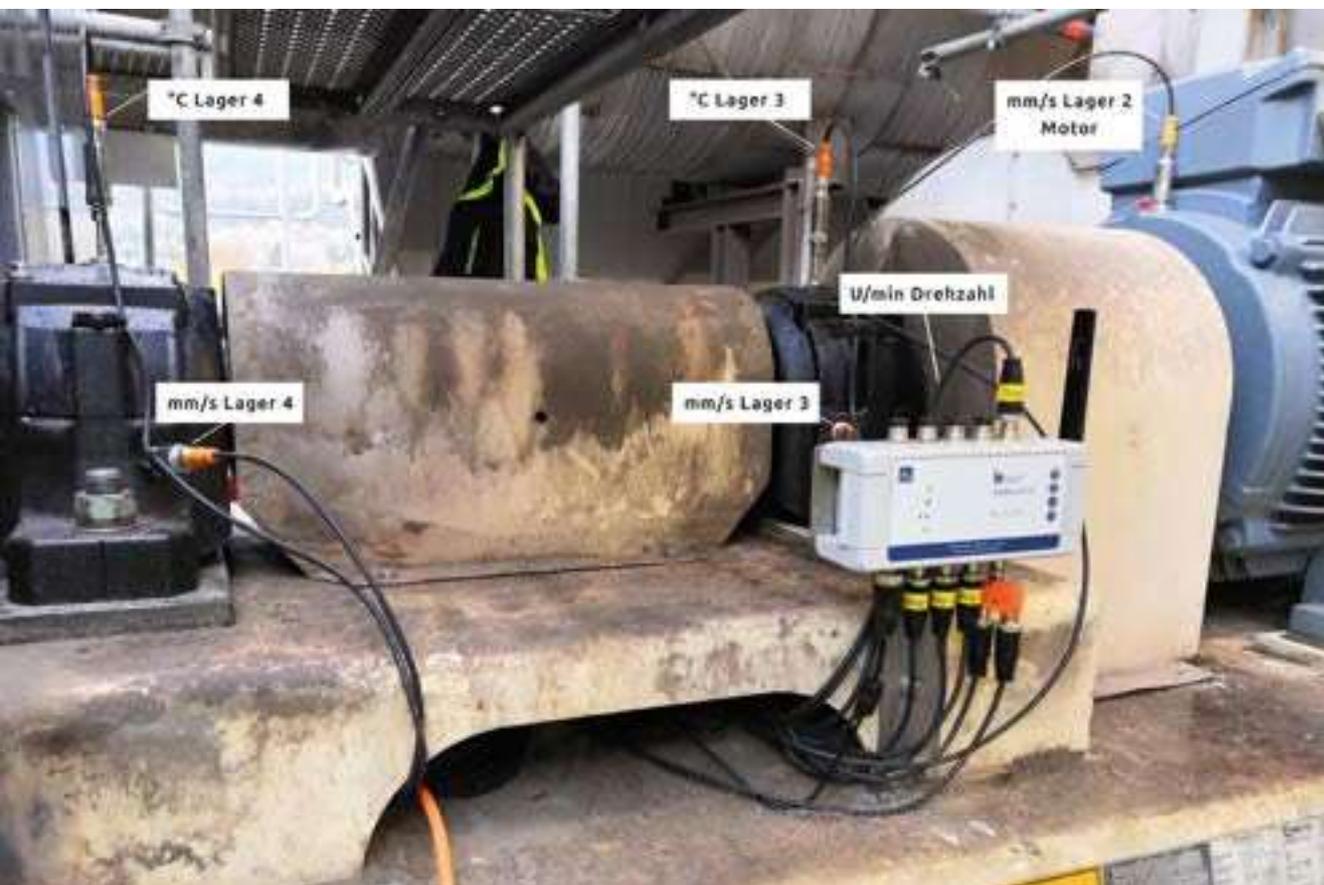


Abbildung 21: Anbringung der Sensoren am Ventilator

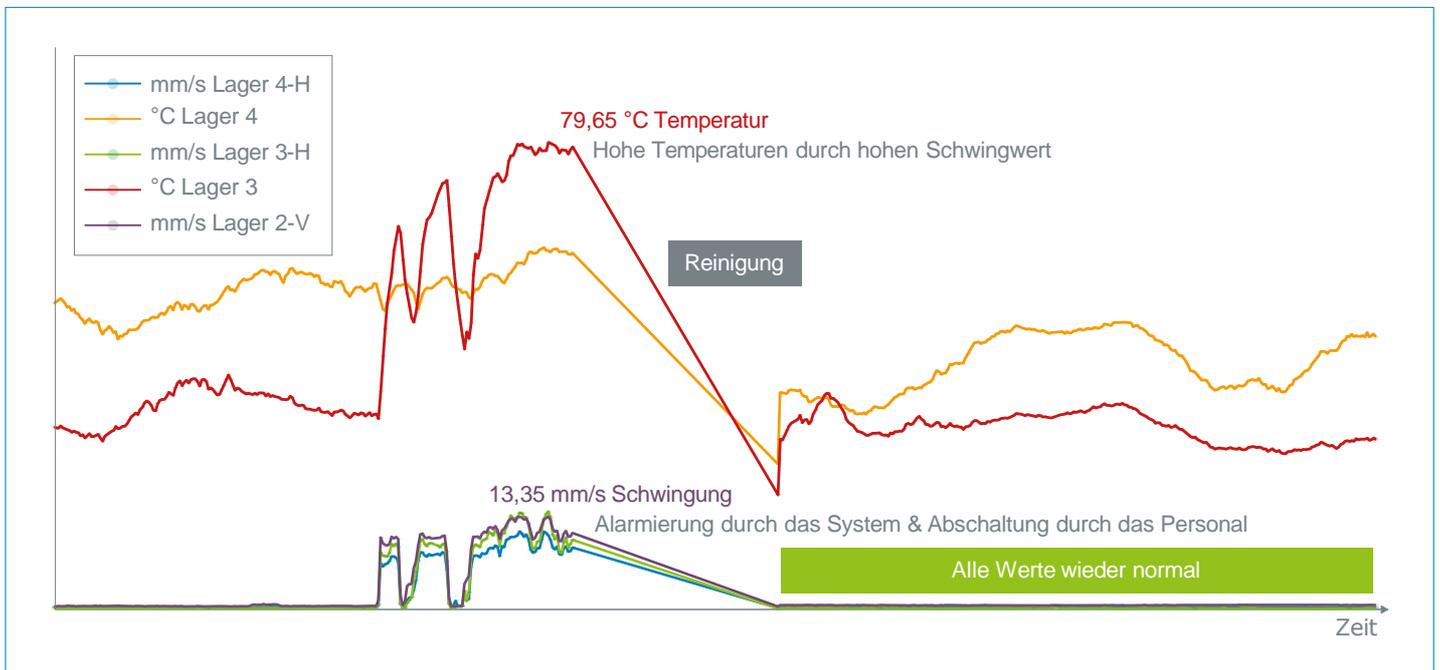


Abbildung 22: Visualisierung des Maschinenzustandes des Ventilators

#### Live Daten anzeigen

Die Cloud-Lösung Monitool speichert die Daten der Toolbox 4.0 und zeigt einen Trendchart von bis zu mehreren Jahren an. Alle Daten stehen unmittelbar zur Verfügung. Zusätzlich ist die gesamten Maschinendokumentation inkl. Historie (z.B. Reparaturberichte) in der Cloud-Lösung abgelegt. Über eine Smartphone-App können via Bluetooth Livedaten auch vor Ort angezeigt werden.

#### Zusammenhänge / Kausalitäten verstehen

Mit der Cloud-Applikation kann der Instandhalter oder Anlagenbetreiber über das Langzeit-Trendcharting die verschiedenen Sensordaten gegenüberstellen und somit Abhängigkeiten erfassen. In diesem Beispiel wurde der Instandhalter vom System wegen hohen Schwing- und Temperaturwerten per E-Mail alarmiert. Das Aggregat wurde aufgrund dessen um 3 Uhr nachts manuell heruntergefahren. Die Frühschicht hat das Aggregat gereinigt und anschließend wieder in Betrieb genommen. Somit konnte der Anlagenbetreiber größeren Schäden vorbeugen. Die Lösung hat dazu geführt, dass sowohl Fehlbedienungen als auch Wartungsbedarfe des Ventilators erkannt werden und Beschädigungen zukünftig vermieden werden.

#### Kosten

Für die beschriebene Lösung sind einmalige Hardware-Kosten in Höhe von 1.180 EUR entstanden (Toolbox + Sensorik). Für die Nutzung des Cloud-Services entstehen jährliche Lizenzkosten in Höhe von 180 EUR. Für die Installation wurde kein Mess- und Regeltechniker benötigt. Die Installation erfolgte in weniger als 2 h.

## Industrie 4.0-Retrofit-Checkliste | Anforderungen

Diese Checkliste soll produzierenden Unternehmen ermöglichen, den Retrofit-Bedarf im eigenen Unternehmen zu ermitteln und eine erste Analyse bezüglich der technischen Voraussetzungen umsetzen zu können. Bitte konsultieren Sie den Anlagenhersteller, wenn Sie einzelne Fragen zur Maschine nicht beantworten können.

**Bitte prüfen Sie im Vorfeld einer Änderung an der Maschine, ob es sich um eine wesentliche Veränderung nach Abbildung 5 handelt.**

### Retrofit-Bedarf ermitteln

Bedarf

- Benötigen Sie eine digitale Dokumentation Ihrer Produktionsprozesse, um so besser auf Anforderungen durch Gesetze, Zertifizierungen, Kunden sowie mögliche Prüfungen vorbereitet zu sein?
- Möchten Sie Produktionsdaten automatisiert archivieren (z.B. für Audits)?
- Möchten Sie Produktionsdaten anderen Unternehmen zur Verfügung stellen?
- Möchten Sie ungeplante Ausfälle und Wartungen in Ihrem Betrieb vermeiden?
- Möchten Sie Ihre Qualitätskontrollen automatisieren?
- Möchten Sie Ihre Qualitätskontrollen optimieren?
- Möchten Sie die Ursachen für die variable Qualität Ihrer erzeugten Produkte bestimmen?
- Gibt es in Ihrem Betrieb Maschinen, bei denen die Qualität des Produktes stark vom Expertenwissen des Bedieners abhängig ist? Wenn ja, möchten Sie dies ändern?
- Benötigen Sie Transparenz über die Energieversorgung und -effizienz Ihrer Maschinen?
- Möchten Sie Leckagen im Versorgungssystem (z.B. Druckluft) entdecken und lokalisieren?
- Beabsichtigen Sie mit Ihren Maschinen neue Geschäftsmodelle anzustreben (z.B. Pay-per-Use)?
- Benötigen Sie mehr Transparenz über Ihre Produktionsprozesse (z.B. OEE)?
- Möchten Sie sicherstellen, dass Ihre Maschinen nur dann laufen, wenn sie benötigt werden?
- Möchten Sie Durchlaufzeiten erfassen?
- Möchten Sie bestimmen können, wann Rüstwechsel nach Bedarf der Maschine erforderlich werden?
- Möchten Sie Maschinen vernetzen, um Produktionsprozesse zu optimieren?

### Daten generieren

Bedarf

**Welche Maschinendaten sind für Ihren Anwendungsfall interessant und sollen erfasst werden?**

- Energiedaten (Leistung und Verbrauch)
- Weitere Prozessmedien (z.B. Druckluftversorgung, Wasser, Öl)
- Umgebungsdaten (z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Beleuchtung, Luftbewegungen, Feinstaub, Gase)
- Prozessdaten (z.B. Positionen, Bewegungen, Vibrationen, Schall, Füllstände, Drücke, Durchflüsse, Temperaturen)
- Werkstück- und Produktidentifikation (u.a. am Ein- und Ausgang der Maschine)
- Werkstück- und Produktqualität
- Werkzeug- oder Messmittelidentifikation
- Werkzeug- oder Messmittelzustand

Sonstige: \_\_\_\_\_

## Industrie 4.0-Retrofit-Checkliste | Bestandsaufnahme

### Daten generieren (Fortsetzung)

Ja Nein

#### Wie ist der aktuelle Status bzgl. Sensorik und Datenabgriff?

Ist bereits Sensorik in der Maschine vorhanden?

Werden Maschinendaten zur Verfügung gestellt, wenn ja welche?

Antwort: \_\_\_\_\_

Über welche Schnittstellen werden Maschinendaten zur Verfügung gestellt?

Antwort: \_\_\_\_\_

Unterstützt Ihre Maschinensteuerung den Datenabgriff über Industrie 4.0-Kommunikationstechnologien (z.B. OPC UA oder MQTT) und lässt sich dieser aktivieren?

Kann auf Daten bestehender Sensoren zugegriffen werden (z.B. mittels Spannungs- oder Stromabgriff)?

Stehen IIoT-Gateways zur aggregierenden Erfassung und Weiterleitung von Sensordaten zur Verfügung?

Lässt sich bestehende Hardware zum IIoT-Gateway aufrüsten (z.B. Steuerungs-PC)?

Werden die erfassten Sensordaten mit standardisierten Kommunikationstechnologien (z.B. OPC UA oder MQTT) zu einer Datenplattform übertragen?

Werden die Sensordaten mit Metadaten (Bezeichnung, Einheit, etc.) gekennzeichnet?

Werden die Daten mit Zeitstempeln versehen (z.B. im Gateway oder in der Datenbank)?

Werden die verwendeten Gateways und Sensoren zeitlich synchronisiert?

#### Welche Möglichkeiten bestehen zur nachträglichen Installation von Sensoren an den prozessrelevanten Stellen?

Integration von medienberührenden oder mechanisch gekoppelten Sensoren möglich

Integration berührungsloser Sensorik möglich

Möglichkeit einer leitungsgebundenen Kommunikation und Energieversorgung

Möglichkeit einer drahtlosen Kommunikation und Energieversorgung (z.B. Batterie oder Energy Harvesting)

Kann die nachgerüstete Sensorik störungsarm und zerstörungsfrei betrieben werden (Schutzklasse, ...)

#### Welche Netzwerk-Infrastruktur steht in Maschinennähe zur Verfügung?

Internetzugang für mögliche Cloud-Anbindung

Ethernet

WLAN

Mobilfunk 4G/5G

Sonstige:

Antwort: \_\_\_\_\_

## Industrie 4.0-Retrofit-Checkliste | Bestandsaufnahme

### Live Daten anzeigen

|  | Ja                       | Nein                     | Bedarf                   |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ist bereits Sensorik in der Maschine vorhanden?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Werden die gesammelten Daten einheitlich mit Metainformationen abgespeichert?                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Befindet sich der Datenserver innerhalb des Unternehmens?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Stehen sichere Lösungen zur Datenübertragung aus dem Produktionsnetzwerk in die Cloud eines Dienstleisters bereit? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Können Daten zum Datenserver verschlüsselt übertragen werden?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Werden die Daten in einer Datenbank abgelegt?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Wenn ja, welche Datenbank wird genutzt?  |                          |                          |                          |
| Antwort: _____   |                          |                          |                          |
| Werden Daten durch andere Systeme (z.B. ERP, MES) automatisiert ausgewertet?                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Werden Daten in Echtzeit visualisiert?   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Lässt sich die Visualisierung auch auf mobilen Endgeräten darstellen?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Kann auf die Daten flexibel über das Unternehmensnetzwerk zugegriffen werden?                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Kann auf die Daten über das Internet zugegriffen werden?   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Werden historische Daten dargestellt?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Stehen Daten protokolliert für Audits zur Verfügung?   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### Zusammenhänge / Kausalitäten verstehen

|   | Ja                       | Nein                     | Bedarf                   |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Werden historische Daten maschinell verglichen?   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Werden Rüstwechseltermine und -arten über Maschinendaten bestimmt?                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Werden unterschiedliche Datenwerte zueinander in Bezug gesetzt?   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Existieren Referenzwerte und -muster für eine auf Grenzwerten basierende Fehler- und Wartungserkennung? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Verwenden Sie eine auf KI basierende Anomalie-Erkennung?  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### Automatisierung

|  | Ja                       | Nein                     | Bedarf                   |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Werden Alarm-Meldungen auf Basis von erkannten Fehlern versendet?                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Schalten Sie Ihre Maschinen gezielt in Standby, wenn sie nicht benötigt werden?          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Eskalieren Sie auf der Basis erkannter Fehler und Warnungen?                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Regeln Sie Prozesse auf der Basis der erfassten Daten?                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Steuern Sie maschinenübergreifende Prozesse mit den Maschinendaten?                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Steuern Sie Geschäftsprozesse mit Lieferanten, Dienstleistern oder Kunden mit den Daten? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## Industrie 4.0-Retrofit-Checkliste | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dient der Übersicht möglicher Kostenposten eines Industrie 4.0-Retrofit. Einmalige Kosten können den Angeboten potentieller Dienstleister entnommen werden. Zahlen zu aktuellen Betriebs- und Prozesskosten muss das Unternehmen bei fehlenden Zahlen entsprechend schätzen. Kostenersparnisse müssen ggf. in Absprache mit einem Dienstleister geschätzt werden.

### Einmalige Kosten (Kostenart) Kosten in EUR

|  |
|--|
| Projektmanagement  |
| Planung der Retrofit-Maßnahme (Projektierung)              |
| Installation und Inbetriebnahme von Retrofit-Lösung        |
| Evaluation und Optimierung der Daten-basierten Anwendungen |
| Sensorik   |
| Mechanische Aufnahmevorrichtungen für Sensoren             |
| IIoT/Cloud-Gateway oder Steuerung mit OPC UA               |
| Datenplattform zur Datenspeicherung                        |
| Datenvisualisierung  |
| Umsetzung von Daten-basierten Anwendungen                  |
| <b>Einmalige Gesamtkosten</b>                              |

### Betriebskosten und Prozesskosten pro Jahr (Kostenart) Kosten ohne Retrofit (EUR)      Kosten mit Retrofit (EUR)

|   |
|---|
| Abschreibungen  |
| Lizenzkosten für Software   |
| Medien (Strom, Druckluft, Klimatisierung)                         |
| Elektrische Lastspitzen   |
| Geplante Wartungen (Preventive Maintenance)                       |
| Ungeplante Anlagenstillstände                                     |
| Verringerte Bearbeitungsgeschwindigkeit                           |
| Kurzfristige Störungen und Unterbrechungen sowie deren Behebung   |
| Ausschuss   |
| Lagerhaltungskosten für Ersatzteile                               |
| Ineffizienter Anlagenbetrieb                                      |
| Rückläufer aufgrund unzureichender Qualitätskontrolle             |
| Maschinenbelegplanung   |
| Wartezeiten (Material, Personal, Auftragspapiere)                 |
| Dokumentation von Anlagenbetrieb und Qualitätskontrollen          |
| Lagerhaltungskosten (Roh- und Fertigwaren) und Fertigungslogistik |
| Personal für Maschinenbeobachtung                                 |
| <b>Jährliche Gesamtkosten</b>                                     |

## Quellenverzeichnis

- [1] Leitfaden Investitionsrechnung für Digitalisierungsprojekte und Industrie 4.0 Vorhaben, VDMA, 2018,  
Online: [https://businessadvisory.vdma.org/documents/23021019/26396087/VDMA-Leitfaden-Investitionsrechner-4.0\\_1529070020951.pdf/71342020-95ac-fc67-e62a-4a2cb557abf7](https://businessadvisory.vdma.org/documents/23021019/26396087/VDMA-Leitfaden-Investitionsrechner-4.0_1529070020951.pdf/71342020-95ac-fc67-e62a-4a2cb557abf7)  
(geprüft: 07.08.2020)
- [2] Leitfaden Sensorik, VDMA, 2018,  
Online: [https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/23965916/Leitfaden\\_Sensorik\\_I40\\_1520527273290.pdf/09b7ac94-bbe2-4fdd-a258-00c90c9d1e4d](https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/23965916/Leitfaden_Sensorik_I40_1520527273290.pdf/09b7ac94-bbe2-4fdd-a258-00c90c9d1e4d)  
(geprüft: 14.05.2020)
- [3] Leitfaden Industrie 4.0 Kommunikation mit OPC UA, 2017,  
Online: [https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/16617345/1492669959563\\_2017\\_Leitfaden\\_OP\\_CUA\\_LR.pdf/f4ddb36f-72b5-43fc-953a-ca24d2f50840](https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/16617345/1492669959563_2017_Leitfaden_OP_CUA_LR.pdf/f4ddb36f-72b5-43fc-953a-ca24d2f50840)  
(geprüft: 03.08.2020)
- [4] Leitfaden Industrie 4.0 Security, VDMA, 2016,  
Online: [https://industrialsecurity.vdma.org/documents/16227999/26241922/Leitfaden\\_I40\\_Security\\_DE\\_1526308023972.pdf/9d801c77-eaf4-dab7-72f8-cf3f7a4deca2](https://industrialsecurity.vdma.org/documents/16227999/26241922/Leitfaden_I40_Security_DE_1526308023972.pdf/9d801c77-eaf4-dab7-72f8-cf3f7a4deca2)  
(geprüft: 14.05.2020)
- [5] Leitfaden Selbstlernende Produktionsprozesse, VDMA, 2019,  
Online: [https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/40887780/Leitfaden\\_I40\\_InPuls\\_LR\\_1568024310140.pdf/176e85cb-3628-7e7f-d8ec-ba5cd413a5b6](https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/40887780/Leitfaden_I40_InPuls_LR_1568024310140.pdf/176e85cb-3628-7e7f-d8ec-ba5cd413a5b6)  
(geprüft: 25.08.2020)
- [6] „Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit“, Bundesamt für Justiz, 1996,  
Online: <http://bundesrecht.juris.de/arbschg/>  
(geprüft: 11.03.2020)
- [7] „Rechtssicherheit beim Retrofit“, Harald Schmidt, Mechatronik, Ausgabe 11/12, IGT Verlag, 2011,  
Online: [http://www.mechatronik.info/ME/cms.nsf/me.DownloadRefs/ME2115195/\\$file/MT\\_11-12\\_11\\_0\\_Sick.pdf?Open](http://www.mechatronik.info/ME/cms.nsf/me.DownloadRefs/ME2115195/$file/MT_11-12_11_0_Sick.pdf?Open)  
(geprüft: 11.03.2020)
- [8] Guide to application of the Machinery Directive 2006/42/EC – Edition 2.2, European Commission, 2006,  
Online: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/38022>  
(geprüft: 11.03.2020)
- [9] „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln“, Bundesamt für Justiz, 2015,  
Online: [https://www.gesetze-im-internet.de/betrsv\\_2015/](https://www.gesetze-im-internet.de/betrsv_2015/)  
(geprüft: 11.03.2020)
- [10] „Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt“, Bundesamt für Justiz, 2011,  
Online: [https://www.gesetze-im-internet.de/prodsg\\_2011/](https://www.gesetze-im-internet.de/prodsg_2011/)  
(geprüft: 11.03.2020)
- [11] The ‚Blue Guide‘ on the implementation of EU product rules 2016, European Commission, 2016,  
Online: <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/18027>  
(geprüft: 11.03.2020)
- [12] Interpretationspapier „Wesentliche Veränderung von Produkten“, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2015,  
Online: [https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Thema-Arbeitsschutz/interpretationspapier-veraenderung-maschinen.pdf;jsessionid=092D586B03B3721BB23D93E989033663?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Thema-Arbeitsschutz/interpretationspapier-veraenderung-maschinen.pdf;jsessionid=092D586B03B3721BB23D93E989033663?__blob=publicationFile&v=2),  
(geprüft am 30.07.2020), 04/2015
- [13] Leitfaden Datenschutz & Industrie 4.0, VDMA, 2016,  
Online: [https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Leitfaden\\_Datenschutz\\_Industrie\\_40\\_1529498363948.pdf](https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Leitfaden_Datenschutz_Industrie_40_1529498363948.pdf)  
(geprüft: 14.05.2020)
- [14] „Betriebsverfassungsgesetz“, Bundesamt für Justiz, 2020,  
Online: [https://www.gesetze-im-internet.de/betrvg/\\_87.html](https://www.gesetze-im-internet.de/betrvg/_87.html)  
(geprüft: 14.05.2020)
- [15] RICHTLINIE 2014/53/EU, European Commission, 2014,  
Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0053&from=ES>  
(geprüft: 03.08.2020)

16 RICHTLINIE 2014/35/EU, European Commission, 2014,  
Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0035>  
(geprüft: 03.08.2020)

17 RICHTLINIE 2014/30/EU,  
European Commission, 2014,  
Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32014L0030>  
(geprüft: 03.08.2020)

18 VDMA-Information Funkanlagenrichtlinie,  
VDMA, 2017,  
Online: <https://www.vdma.org/documents/266753/17479514/VDMA+Info+Funkanlagenrichtlinie.pdf/f6a3e08e-c498-4c6d-8d4d-20db10910485>  
(geprüft: 24.08.2020)

## Projektpartner / Impressum

### VDMA

#### Forum Industrie 4.0

Lyoner Straße 18  
60528 Frankfurt am Main  
Telefon +49 69 6603-1810  
E-Mail [industrie40@vdma.org](mailto:industrie40@vdma.org)  
Internet [industrie40.vdma.org](http://industrie40.vdma.org)

### Fraunhofer-IOSB-INA

Campusallee 1  
32657 Lemgo  
Internet [www.fraunhofer-owl.de](http://www.fraunhofer-owl.de)

### Projektleitung

VDMA- Forum Industrie 4.0,  
Judith Binzer  
VDMA Elektrische Automation,  
Florian Löber  
VDMA Business Advisory,  
Felix Prumbohm

### Inhaltliche Beiträge

Fraunhofer-IOSB-INA  
Andrej Friesen  
Dr.-Ing. Holger Flatt  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite

VDMA Technik, Umwelt und Nachhaltigkeit  
Thomas Kraus

### Beteiligte Unternehmen

Anlagenbau Habeck GmbH & Co. KG  
3d Signals GmbH  
Friedrichs & Rath GmbH  
Balluff GmbH  
Baumüller Nürnberg GmbH  
Bosch Rexroth AG  
Festo SE & Co. KG  
Hans Turck GmbH & Co. KG  
HARTING Deutschland GmbH & Co. KG  
HAWE Hydraulik SE  
HMS Industrial Networks GmbH  
Logic Control GmbH  
MANN+HUMMEL GmbH  
Maschinenbau Kitz GmbH  
QSC AG  
SH-Tools GmbH  
Software Factory GmbH  
viastore SYSTEMS GmbH  
Vollert Anlagenbau GmbH  
WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG  
Wieland Electric GmbH  
Windmüller & Hölscher KG

### Design und Layout

VDMA Verlag GmbH

### Erscheinungsjahr

2020

### Copyright

VDMA, Fraunhofer IOSB-INA

### Bildnachweise

Titelbild: iStock / FreezeFrameStudio  
Seite 1: VDMA  
Seite 3: Fraunhofer IOSB-INA  
Seite 5: Shutterstock  
Seite 7: Fraunhofer IOSB-INA  
Seite 21: Shutterstock  
Seite 25: Bosch Rexroth AG  
Seite 26: Fraunhofer IOSB-INA  
Seite 28: Fraunhofer IOSB-INA  
Seite 29: Friedrichs & Rath GmbH  
Seite 32: Anlagenbau Habeck GmbH & Co. KG  
Seite 34: 3d Signals GmbH  
Seite 35: 3d Signals GmbH  
Seite 36: SH-Tools GmbH  
Seite 37: SH-Tools GmbH

### Grafiken

Fraunhofer IOSB-INA

### Hinweis

Die Verbreitung, Vervielfältigung und öffentliche Wiedergabe dieser Publikation bedarf der Zustimmung des VDMA und seiner Partner. Auszüge der Publikation können im Rahmen des Zitatrechts (§ 51 Urheberrechtsgesetz) unter Beachtung des Quellenhinweises verwendet werden.

**VDMA**

**Forum Industrie 4.0**

Lyoner Straße 18

60528 Frankfurt am Main

Telefon +49 69 6603-1810

E-Mail [industrie40@vdma.org](mailto:industrie40@vdma.org)

Internet [industrie40.vdma.org](http://industrie40.vdma.org)

**Fraunhofer-IOSB-INA**

Campusallee 1

32657 Lemgo

Internet [www.fraunhofer-owl.de](http://www.fraunhofer-owl.de)