

# Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0

Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen



in Kooperation mit



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 Internettechnologien werden Schritt für Schritt in die Produkte und Prozesse der Unternehmen integriert.

Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau übernimmt dabei als Anbieter und Anwender von Industrie 4.0 eine Schlüsselfunktion. Denn er integriert neueste Technik in Produkte und Prozesse. Zugleich ist er Datenquelle für Industrie 4.0: Er erfasst die Daten, interpretiert sie, innoviert damit und entwickelt neue Geschäftsmodelle.



Judith Binzer

Bei der Umsetzung von Industrie 4.0 spielen Sensoren eine zentrale Rolle, denn sie sind die Anknüpfungspunkte zwischen der digitalen und der realen Welt. Um Daten aber korrekt interpretieren und damit auch innovieren zu können, werden die richtigen Sensoren benötigt. Im Maschinen- und Anlagenbau wird die Umsetzung technologischer Innovationen jedoch oftmals durch die Kosten dieser geeigneten Sensorik erschwert.

Vor diesem Hintergrund bietet der vorliegende Leitfaden Hilfestellung: Anwender und Hersteller von Sensorsystemen werden bei der Definition der Anforderungen und der Entwicklung kostengünstiger Sensorsysteme unterstützt. Der Leitfaden definiert sieben Leitfragen, mit denen sich Sensoranwender auseinandersetzen sollten. Dabei werden grundlegende und kostenbestimmende Fragestellungen adressiert. Fünf thematisch gegliederte Werkzeugkästen unterstützen bei der Beantwortung der Leitfragen.

Der VDMA realisiert mit diesem Leitfaden einen weiteren Umsetzungsbaustein für die Praxis und erweitert seine erfolgreiche VDMA-Leitfaden-Serie. Darüber hinaus bietet das VDMA-Forum Industrie 4.0 seinen Mitgliedern auch zu diesem Thema eine Plattform für den Dialog und Erfahrungsaustausch.

Ausdrücklicher Dank gebührt Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer vom Karlsruher Institut für Technologie sowie 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 interessante und inspirierende Lektüre.

### Hartmut Rauen

Stellvertretender VDMA-Hauptgeschäftsführer

### Judith Binzer

VDMA-Forum Industrie 4.0

## Sensorik für Industrie 4.0 – Leitfaden zu kostengünstigen Sensorsystemen



Jürgen Fleischer

Sensoren sind Anknüpfungspunkte zwischen der digitalen und der realen Welt und daher eines der wichtigsten Glieder bei der Umsetzung von Industrie 4.0. Ohne die richtigen Sensoren sind alle übergeordneten Systeme zur Dateninterpretation blind. Bei Anwendungen im industriellen Umfeld erschweren die Kosten der „industrietauglichen“ Sensorik jedoch häufig die Umsetzung innovativer Funktionalitäten. Gerade bei neuen Produkten oder neuen Produktfeatures liegt bei den Endanwendern häufig keine hohe Zahlungsbereitschaft vor. Der wirtschaftliche Nutzen in der eigenen Anwendung kann schließlich oft noch nicht genau beziffert werden. Hierdurch bleiben auch die Stückzahlen vieler Sensorsysteme im heterogenen Markt für industrielle Anwendungen auf einem niedrigen Niveau. Die Kosten von Sensorsystemen bleiben dadurch hoch, potenzielle neue Anwendungen können nicht erschlossen werden – ein Teufelskreis.

Dabei zeigen Beispiele aus anderen Branchen, dass qualitativ hochwertige Sensorsysteme nicht zwingend teuer sein müssen. Die enormen Stückzahlen in der Consumer-Elektronik oder der Automobilbranche führen dazu, dass sowohl Fertigungskosten stark reduziert als auch Entwicklungskosten auf viele Anwendungen umgelegt werden können. Dies führt in bestimmten Anwendungen der Consumer-Elektronik so weit, dass Sensorelemente in Produkte integriert werden, für die es beim Produktstart noch gar keine Anwendung gibt. Im Zuge von Industrie 4.0 wird so auch der Ruf nach Sensorsystemen lauter, die eine Vielzahl von unterschiedlichen Messgrößen erfassen können – der Anwender sieht das Potenzial für eine gewinnbringende Datenanalyse, kann es aber ohne flächendeckenden Einsatz von Sensoren gar nicht prüfen.

Auch wenn nicht alle Aspekte aus dem Consumer- oder Automobil-Sektor auf industrielle Anwendungen übertragbar sind, lohnt der Blick über den Tellerrand: Welche Hilfestellungen können Anwendern von industrieller Sensorik gegeben werden, um ähnlich schnell Lösungen entwickeln zu können, wie es Entwickler von Smartphone-Apps tun? Welche Stellhebel existieren bei den Kosten von Sensorsystemen heute noch?

Diese und weitere Fragestellungen führten zu diesem Leitfaden, der Hilfestellung und Ideengeber zugleich sein soll. Dabei sollen Sensoranwender im Entwicklungsprozess der eigenen, sensorbasierten Anwendung unterstützt werden. Ziel ist es, sich die Kostentreiber der eigenen Anwendung bewusst zu machen, sie frühzeitig zu berücksichtigen oder ganz zu vermeiden. Hierfür definiert der Leitfaden für die Anwender einerseits Leitfragen und andererseits Werkzeugkästen, welche die Beantwortung der Leitfragen durch den Anwender unterstützen.



Auch in Zukunft werden Sensoranwender jedoch nicht auf das Know-how und die Expertise der Sensorhersteller verzichten können. Daher nimmt der Leitfaden mit Hilfe von Handlungsempfehlungen auch die Perspektive der Sensorhersteller ein und beleuchtet Kostenhebel sowie das Verhältnis zum Consumer-Sektor.

**Auch wenn nicht alle Aspekte aus dem Consumer- oder Automobil-Sektor auf industrielle Anwendungen übertragbar sind, lohnt der Blick über den Tellerrand.**

Industrie 4.0 kann erst zur Revolution werden, wenn flächendeckende Sensoren die Datenbasis für neue Anwendungen liefern. Die Anforderungen an diese Sensoren definieren jedoch erst die konkreten Anwendungsfälle der Sensoranwender. Daher setzt dieser Leitfaden genau dort an und bietet ein Hilfsmittel, um Anwendung und Sensorsystem noch besser aufeinander abzustimmen.

**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer**

wbk Institut für Produktionstechnik,  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

## Management Summary

**Für den Einsatz in der Consumer-Elektronik oder der Automobilproduktion werden Sensorbauelemente zur Umwandlung einer Messgröße in ein elektrisches Signal massenfertig und sind deshalb zu geringen Stückpreisen erhältlich. Darüber hinaus können diese Bauelemente meist für mehr als nur eine spezifische Anwendung genutzt werden. Für den Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau müssen die Sensorbauelemente jedoch in ein Sensorsystem mit entsprechenden elektrischen, mechanischen und softwaretechnischen Komponenten integriert werden, das den spezifischen Anforderungen dieser industriellen Anwendung gerecht wird.**

In der Diskussion mit Sensorherstellern wird schnell klar, warum der Vergleich mit kostengünstiger Sensorik aus dem Consumer- oder Automobil-Sektor nicht möglich ist: Die viel geringeren Stückzahlen von Sensorsystemen in industriellen Anwendungen führen dazu, dass die Entwicklungskosten auf wenige verkaufte Einheiten umgelegt werden müssen. Auch in der Produktion stellen sich weit geringere Wiederholeffekte ein als etwa bei Sensoren für den Automobilsektor. Die Folge sind deutlich höhere Kosten.

„Junge“ industrielle Anwendungen wie aus dem Bereich Industrie 4.0, die oft auf zusätzliche Sensorik angewiesen sind, verlieren mit steigenden Kosten jedoch an Attraktivität für Kunden und Entscheider im eigenen Unternehmen.

**Der Leitfaden zielt darauf ab, Anwender und Hersteller bei der Anforderungsdefinition und Entwicklung kostengünstigerer Sensorsysteme zu unterstützen.**

Deshalb ist hier eine strategische Auseinandersetzung mit einem Wechselspiel aus Anforderungen, Stückzahlen und Anschaffungskosten für die jeweilige Anwendung erforderlich.

Der Leitfaden soll Anwender und Hersteller bei der Anforderungsdefinition und Entwicklung kostengünstigerer Sensorsysteme unterstützen. Auch wenn er dabei insbesondere auf „junge“, besonders kostensensible Anwendungen abzielt, kann er selbstverständlich auch für die Weiterentwicklung etablierter Produkte eingesetzt werden.

Der Leitfaden stellt sieben Leitfragen und fünf zugehörige Werkzeugkästen bereit. Die Leitfragen sollen Anwender dabei unterstützen, alle potenziell kostentreibenden Aspekte der Sensoranwendung zu beleuchten und sie kritisch in die Lösungsfindung miteinzubeziehen. Bei der Beantwortung der Leitfragen unterstützen fünf thematisch gegliederte Werkzeugkästen, die technische Optionen und Vorgehensweisen für unterschiedliche Aspekte von Sensorsystemen anschaulich darstellen. Dass die Vorgehensweise ein kostengünstiges Sensorsystem hervorbringt, kann selbstverständlich nicht garantiert werden – wenn die Anwendung es erlaubt, dient der Leitfaden jedoch als Hilfsmittel, dieses Potenzial auszunutzen. Der Umgang mit den Leitfragen und Werkzeugkästen wird an einer Beispielanwendung exemplarisch skizziert (siehe Seite 20).

Die Berücksichtigung von Kostentreibern durch Sensoranwender stellt allerdings nur einen Baustein auf dem Weg zur Umsetzung kostengünstiger Sensorik dar. Zum Abschluss des Leitfadens werden daher Handlungsempfehlungen formuliert, die sich gezielt an Sensorhersteller richten.

## Was steht in diesem Leitfaden?

### Zielsetzung

Ziel des Leitfadens ist es, für Anwender und Hersteller von Sensorsystemen Stellhebel und Wege zu niedrigeren Sensorkosten aufzuzeigen. Hierfür werden zum einen Sensoranwender durch Leitfragen und unterstützende Werkzeugkästen im frühen Entwicklungs- und Evaluationsprozess der eigenen Anwendung unterstützt. Damit soll der Weg zu einer kostenorientierten Anforderungsdefinition und dem Einsatz kostengünstigerer Sensorik geebnet werden. Auf der anderen Seite sollen Sensorhersteller durch Handlungsempfehlungen in der Zusammenarbeit mit Sensoranwendern unterstützt werden. Zudem werden Wege aufgezeigt, wie Aspekte aus anderen Sektoren auf die eigenen Produkte übertragen werden können.

### Ansatz und Aufbau

Der Leitfaden grenzt sich von gängigen Vorgehensweisen zur Entwicklung mechatronischer Produkten oder Sensorsysteme ab. Diese beschreiben meist abstrakt grundlegende Entwicklungsmethoden. Vielmehr soll der Leitfaden Anwender mit unterschiedlichem Wissensstand bei der Umsetzung der eigenen Sensoranwendung unterstützen. Ob dieser Entwicklungsprozess zunächst alleine vom Anwender oder direkt in Kooperation mit Sensorherstellern angegangen wird, ist dabei für die Vorgehensweise zunächst unerheblich. Der Leitfaden soll bei der Formulierung der richtigen Fragen unterstützen – die Antworten müssen jeweils selbst erarbeitet werden.

Folglich beinhaltet der Leitfaden sieben Leitfragen, mit denen sich Sensoranwender auseinandersetzen sollten (siehe Seite 6). Diese Leitfragen adressieren die grundlegenden und kostenbestimmenden Fragestellungen wie etwa zu erfassende Messgrößen, Umgebungsbedingungen oder Stückzahl der Anwendung. Die

bloße Formulierung der richtigen Fragen reicht jedoch nicht aus: Sie werfen meist eine ganze Reihe weiterer Fragen auf, die für viele Sensoranwender nur schwer zu beantworten sind. Aus diesem Grund wurden fünf Werkzeugkästen entwickelt (siehe Seite 10 ff.), die bei der Beantwortung der Leitfragen unterstützen. Die Werkzeugkästen sind in fünf verschiedene Themenbereiche aufgeteilt, die technische Optionen und Lösungsansätze plastisch aufzeigen. Damit unterstützen die Werkzeugkästen die Anforderungsdefinition und Auswahl möglicher Sensorsysteme.

**Die Leitfragen und Werkzeugkästen sollen Sensoranwender mit unterschiedlichem Wissensstand bei der Umsetzung der eigenen, möglichst kostengünstigen Sensoranwendung unterstützen.**

### Projekthintergrund

Das VDMA-Forum Industrie 4.0 hat in Kooperation mit dem wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und einem projektbegleitenden VDMA-Industrie-Arbeitskreis diesen Leitfaden erstellt. Der Arbeitskreis setzte sich aus 13 führenden Sensorherstellern und –anwendern zusammen. Ziel war es, durch einen direkten Austausch in persönlichen Interviews, Befragungen und Workshops die Perspektiven von Sensorherstellern und Sensoranwendern gegenüberzustellen und Hilfestellungen zu entwickeln.

## Leitfragen für Sensoranwender

**Zu Beginn die richtigen Fragen zu stellen, ist auch bei Sensoranwendungen entscheidend. So existieren prinzipiell viele Stellhebel mit Einfluss auf die Performance und Kostenstruktur einer Sensoranwendung. Das frühzeitige Denken in technischen Lösungen kann diese Stellhebel jedoch versperren. Daher zielen die formulierten Leitfragen darauf ab, die verschiedenen Aspekte der Sensoranwendung unvoreingenommen und ausgewogen zu beleuchten.**

Wie tiefgehend jede einzelne Frage beantwortet werden muss, hängt vom Entwicklungsstadium der Sensoranwendung ab. Soll eine Anwendung zur Abschätzung der Machbarkeit, Kostenstruktur und Marktakzeptanz schnell testweise entwickelt werden, fällt der Detaillierungsgrad anders aus, als wenn eine Sensorlösung in Serie implementiert werden soll. So zieht jede Leitfrage eine beliebig lange oder kurze Kette an Folgefragen nach sich, welche Anwender gegebenenfalls in Kooperation mit Herstellern fallbezogen beantworten müssen. Die einzelnen Leitfragen werden im Folgenden mit erklärenden Begleittexten dargestellt.

### 1. Welcher Nutzen soll durch die Sensoranwendung entstehen?

Den Startpunkt der Leitfragen bildet eine möglichst unvoreingenommene Auseinandersetzung mit dem anvisierten Kern-Nutzen der neuen Sensoranwendung. Dabei ist es wichtig, sich vom Denken in technischen Lösungen zu trennen und vom Mehrwert für die spätere Zielgruppe der Anwendung auszugehen. So hat die konkrete technische Ausgestaltung der Sensorlösung zwar entscheidenden Einfluss auf die Kosten des Systems, spielt für den Kunden aber meist nur eine untergeordnete Rolle. So könnte der Nutzen beispielsweise eine höhere Maschinenverfügbarkeit, optimierte Prozessregelung oder bessere Planbarkeit von Maschinenstillständen oder der Materialbereitstellung sein. Auch könnten sich für Anlagenhersteller oder Anwender neue Geschäftsmodelle ergeben, für

die das Sensorsystem die Datenbasis liefert. Die Konkretisierung des Anwendernutzens hilft dabei, klarer zu spezifizieren, welche Anforderungen an das Sensorsystem bestehen – und welche für die eigentliche Zielgruppe nebensächlich sind.

**Die Kostenstruktur einer Sensoranwendung hat viele Stellhebel. Das frühzeitige Denken in technischen Lösungen kann diese Stellhebel jedoch versperren.**

### 2. Sind die Messgrößen bereits bekannt? Welche sollen erfasst werden?

Vielfach besteht schon in den ersten Diskussionen zu einer Sensoranwendung scheinbare Klarheit über die zu erfassenden Messgrößen. Ausgehend vom anvisierten Nutzen des Anwenders (Frage 1) und dem vorhandenen technischen System ist es jedoch sinnvoll, lösungsneutral verschiedene Messgrößen zu diskutieren, mit denen die Umsetzung denkbar wäre. So können Effekte und Zustände eines technischen Systems meist auf verschiedene Arten erfasst werden – direkt und indirekt, über eine Messgröße oder durch Korrelation einer Reihe anderer Größen.

Bei der Auswahl möglicher Sensortypen für die Messgrößen kann dann der Werkzeugkasten Sensortyp (Seite 11) unterstützen. Er listet verschiedene Verfahren und Typen zur Bestimmung gängiger Messgrößen in der industriellen Anwendung auf und zeigt damit Alternativen mit potenziell unterschiedlichen Genauigkeiten, Messbereichen oder Kosten auf.

# Die Leitfragen und unterstützende Werkzeugkästen im Überblick

1. Welcher Nutzen soll durch die Sensoranwendung entstehen?

2. Sind die Messgrößen bereits bekannt? Welche sollen erfasst werden?

**Werkzeugkasten Sensortyp**

Messgrößen: Temperatur / Wärmestrahlung

Sensortypen und Messprinzipien:

- Widerstandsthermometer
- Infrarot-Temperatursonde
- Thermoelement

3. Welcher Bauraum und welche Schnittstellen stehen für das Sensorsystem zur Verfügung?

**Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien**

Topologie, Max., Übertragungs-, Zykluszeit\*, Fehler-, Bemerkungen

**Werkzeugkasten Datenverarbeitung**

Einfluss auf Leistung der Datenverarbeitung

**Werkzeugkasten mechanische Integration**

Sensorenpositionierung zur Bestimmung der Messgröße

- Messung des primären Effekts an der Wirkstelle
- Messung von sekundären Effekten an der Wirkstelle
- Messung von sekundären Effekten außerhalb der Wirkstelle
- Auswertung weiterer Messdaten zur Interpretation

4. Welchen Umgebungsbedingungen wird das Sensorsystem ausgesetzt?

**Werkzeugkasten Sensortyp**

Messgrößen: Temperatur / Wärmestrahlung

**Werkzeugkasten mechanische Integration**

Sensorenpositionierung zur Bestimmung der Messgröße

- Messung des primären Effekts an der Wirkstelle
- Messung von sekundären Effekten an der Wirkstelle
- Messung von sekundären Effekten außerhalb der Wirkstelle
- Auswertung weiterer Messdaten zur Interpretation

5. Welche Eigenschaften sollte das Messsignal für die geplante Dateninterpretation haben?

**Werkzeugkasten Sensortyp**

Messgrößen: Temperatur / Wärmestrahlung

**Werkzeugkasten Informationsgenerierung**

Schritte zum Erzeugen und "Verstehen" der Daten

- Fixierung der Vorgehensweise zur initialen Datengenerierung
- Initiale Datengenerierung
- Aufbereitung und Visualisierung der gewonnenen Daten
- Plausibilitätsprüfung der Daten

6. Was hat ein Ausfall / eine Fehlfunktion des Sensorsystems zur Folge?

**Werkzeugkasten Sensortyp**

Messgrößen: Temperatur / Wärmestrahlung

**Werkzeugkasten mechanische Integration**

Sensorenpositionierung zur Bestimmung der Messgröße

**Werkzeugkasten Informationsgenerierung**

Schritte zum Erzeugen und "Verstehen" der Daten

- Fixierung der Vorgehensweise zur initialen Datengenerierung
- Initiale Datengenerierung
- Aufbereitung und Visualisierung der gewonnenen Daten
- Plausibilitätsprüfung der Daten

7. In welcher Stückzahl soll das Sensorsystem eingesetzt werden?

**Werkzeugkasten Sensortyp**

Messgrößen: Temperatur / Wärmestrahlung

**Werkzeugkasten mechanische Integration**

Sensorenpositionierung zur Bestimmung der Messgröße

**Werkzeugkasten Datenverarbeitung**

Einfluss auf Leistung der Datenverarbeitung

**Werkzeugkasten Informationsgenerierung**

Schritte zum Erzeugen und "Verstehen" der Daten

**Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien**

Topologie, Max. Leitungslänge/Reichweite\*, Übertragungsgeschwindigkeit\*, Zykluszeit\*, Fehlererkennung, Bemerkungen

Abbildung 1: Fünf thematisch gegliederte Werkzeugkästen unterstützen bei der Beantwortung der Leitfragen.

### 3. Welcher Bauraum und welche Schnittstellen stehen für das Sensorsystem zur Verfügung?

In Abhängigkeit von dem bereits vorhandenen technischen System, in das die Sensoranwendung integriert werden soll, bestehen häufig Restriktionen. Diese betreffen zum Beispiel die Schnittstellen für Kommunikation, Energieversorgung oder mechanische Befestigungsmöglichkeiten sowie den zur Verfügung stehenden Bauraum. Dabei beschränken die in Frage kommenden Messgrößen und Sensortypen (Frage 2) häufig auch die Möglichkeiten zur Positionierung des Sensorsystems und folglich den dort zur Verfügung stehenden Bauraum.

Umso enger die Vorgaben für Bauraum und Schnittstellen sind, umso wahrscheinlicher ist es, dass am Markt verfügbare Sensorsysteme für die Anwendung nicht in Frage kommen und ein bestehendes Sensorsystem angepasst oder gar eigens entwickelt werden muss. Die Entwicklungskosten und oft geringen Stückzahlen (insbesondere bei Maschinen- und Anlagenbauern) führen dann dazu, dass die Kosten der Anwendung stark ansteigen können. Vor diesem Hintergrund sollte das Wechselspiel aus Messgröße, Sensortyp und den daraus ergebenden Bauraum- und Schnittstellen-Restriktionen intensiv erörtert werden. Die Werkzeugkasten mechanische Integration (S. 13), Datenverarbeitung (S. 15) und Kommunikationstechnologien (S. 19) helfen hier, verfügbare Optionen, etwa bei der Sensorpositionierung, zu diskutieren.

**Umso enger die Vorgaben für Bauraum und Schnittstellen sind, umso wahrscheinlicher ist es, dass am Markt verfügbare Lösungen für die Anwendung nicht in Frage kommen und eine Neuentwicklung nötig ist.**

### 4. Welchen Umgebungsbedingungen wird das Sensorsystem ausgesetzt?

Sensorbauelemente mit geeigneten Gehäusen dauerhaft vor den Umgebungsbedingungen im industriellen Einsatz zu schützen und gleichzeitig eine ausreichende Qualität des Messsignals zur Verfügung zu stellen, stellt einen großen Kostentreiber für die Entwicklung und Fertigung von Sensorsystemen dar. Die wirkenden äußeren Einflüsse und deren Ausprägungen sind jedoch so unterschiedlich wie die Anwendungen selbst. Daher ist es wichtig zu definieren, welchen Einflüssen ein Sensorsystem an den möglichen Sensorpositionen jeweils konkret ausgesetzt wäre und wie lange es diesen Einflüssen standhalten müsste.

Das Zusammenspiel des Sensortyps und die sich daraus ergebende Sensorposition (Werkzeugkasten Sensortyp, Seite 11) mit der mechanischen Integration, die mit dem Werkzeugkasten mechanische Integration (Seite 13) erörtert werden kann, ergibt dann Optionen zum Einsatz von bereits am Markt verfügbarer Sensorik oder zur Neuentwicklung eines Sensorsystems.

### 5. Welche Eigenschaften sollte das Messsignal für die geplante Dateninterpretation haben?

Die Qualität des Messsignals ist die Basis für die technische Umsetzbarkeit der Sensoranwendung. Gleichzeitig stellen hohe Ansprüche an das Messsignal einen starken Kostentreiber für die Anwendung dar: Große Messbereiche oder hohe Messgenauigkeiten und Abtastfrequenzen haben große Auswirkungen auf Komponenten, Konstruktion und Entwicklungsaufwand eines Sensorsystems. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, bereits früh alternative Lösungsansätze realitätsnah zu testen und damit zu klären, wie hoch die Minimalanforderungen an das Messsignal für die jeweiligen Messgrößen sind. Ist eine absolute Erfassung der Messgröße erforderlich oder ist es ausreichend, die relative Veränderung der Messgröße zu erfassen? Wie oft muss das Messsignal verarbeitet oder weitergegeben werden? Die Interpretation des beziehungsweise der Messsignale spielt dabei eine entscheidende Rolle. So lohnt es sich, in der Entwicklungsphase die Nutzung

von Messsignalen mit unterschiedlichen Eigenschaften zu testen, um später das günstigste Sensorsystem einsetzen zu können, welches allen Anforderungen entspricht.

Der Werkzeugkasten Informationsgenerierung (Seite 17) soll hierfür eine Vorgehensweise sowie technische Optionen aufzeigen, wie die Interpretation der Sensordaten des gewählten Sensortyps (Werkzeugkasten Sensortyp, Seite 11) auf die konkrete Anwendung zugeschnitten werden kann.

### **6. Was hat ein Ausfall / eine Fehlfunktion des Sensorsystems zur Folge?**

Der Ausfall eines Sensorsystems im industriellen Einsatz kann in der Regel deutlich gravierendere Folgen haben, als es etwa im Consumer-Sektor der Fall ist. Für den Anwendungsfall und Anwendungsbereich spezifische Tests und Zertifizierungen tragen diesem Umstand Rechnung. Ausgehend vom Nutzen des Anwenders (Frage 1) ist es daher wichtig, die Folgen eines Ausfalls des Sensorsystems zu erörtern. So haben sicherheitskritische oder prozessregelnde Anwendungen andere Anforderungen als Zusatzfunktionalitäten, die den wertschöpfenden Prozess nicht oder nur mit zeitlicher Verzögerung stören können. Insbesondere vor dem Hintergrund von Industrie-4.0-Anwendungen, die häufig Zusatzfunktionalitäten mit einem Mehrwert für den Anwender darstellen, ist die Diskussion dieser Aspekte wichtig.

Durch die Beantwortung der Leitfrage kann der Aufwand abgeschätzt werden, der notwendig ist, um einerseits Ausfälle zu vermeiden und andererseits die Funktionsfähigkeit des Systems zu qualifizieren. Beim Vermeiden von Ausfällen spielen der gewählte Sensortyp (Werkzeugkasten Sensortyp, Seite 11), die mechanische Integration (Werkzeugkasten mechanische Integration, Seite 13) sowie die Robustheit der Dateninterpretation (Werkzeugkasten Informationsgenerierung, Seite 17) eine tragende Rolle.

**Im Dialog mit Sensorherstellern sollten Szenarien entwickelt werden, wie sich die Kostenstruktur eines anvisierten Sensorsystems in Abhängigkeit der abgenommenen Stückzahl verändern kann.**

### **7. In welcher Stückzahl soll das Sensorsystem eingesetzt werden?**

Der Blick auf den Consumer- und Automobil-Sektor zeigt, dass Stückzahlen aufgrund von Skaleneffekten den großen Stellhebel für Kosten von Sensorsystemen darstellen. Somit hängt auch die Wirtschaftlichkeit der Anwendung in hohem Maße von der Stückzahl, in der das Sensorsystem abgesetzt werden kann, ab. Insbesondere bei neuartigen Zusatzfunktionalitäten, die auf Sensorsystemen basieren, besteht jedoch meist kein Erfahrungswissen über absetzbare Stückzahlen. Daher ist es sinnvoll, bereits früh den Austausch mit potenziellen Anwendern zu suchen. Erste funktionsfähige Sensorsysteme ermöglichen es, die Anwendung mit Pilotkunden beziehungsweise Leitanwendern zu testen und den Nutzen der Sensoranwendung genauer beziffern zu können.

Die fünf Werkzeugkästen des Leitfadens sollen helfen, möglichst schnell zu ersten funktionsfähigen Anwendungen zu kommen und einen frühen Erkenntnisgewinn über die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit zu erreichen. Im Dialog mit Sensorherstellern sollten Szenarien entwickelt werden, wie sich die Kostenstruktur eines anvisierten Sensorsystems in Abhängigkeit der abgenommenen Stückzahl verändern kann.

## Werkzeugkasten Sensortyp

Ziel des Werkzeugkastens Sensortyp ist es, den komplexen Entscheidungsprozess bei der Auswahl von Sensortypen bzw. Messprinzipien, die für die eigene Anwendung infrage kommen, zu unterstützen. Gegliedert nach Messgrößen (Zeilen des Werkzeugkastens) werden unterschiedliche, im Bereich industrieller Anwendungen häufig eingesetzte Sensortypen und Messprinzipien (Spalten des Werkzeugkastens) aufgelistet. Die fokussierten Messgrößen sind solche, die in industriellen Anwendungen häufig von Interesse sind: Temperatur, Durchfluss, Kraft (mit deren Verwandten Druck und Moment), Beschleunigung, Hörschall und Körperschall, Position / Abstand / Winkel und deren Änderungen über die Zeit, Füllstand sowie die Identifikation von Objekten. Dabei fällt auf, dass viele Messgrößen miteinander verwandt sind oder indirekt durch andere Messgrößen bestimmt werden können. Entsprechend tauchen Messprinzipien zum Teil unter mehreren Messgrößen auf.

**Der Werkzeugkasten Sensortyp bietet eine Ausgangsbasis für den komplexen Entscheidungsprozess bei der Auswahl von Sensortypen und Messprinzipien für die eigene Anwendung.**

Der Werkzeugkasten Sensortyp bietet eine Ausgangsbasis für den komplexen Entscheidungsprozess bei der Auswahl von Sensortypen und Messprinzipien für die eigene Anwendung. Den genannten Messgrößen sind eine Reihe unterschiedlicher Messprinzipien oder Sensortypen zugeordnet, die als Startpunkt für eine weitere Recherche und Eignungsprüfung dienen. So verbirgt sich hinter den dargestellten Sensortypen häufig eine Vielzahl weiterer Ausprägungen mit anwendungsabhängigen Vor- und Nachteilen.

Die dargestellten Sensortypen und Messprinzipien besitzen jeweils unterschiedliche Messbereiche, Messgenauigkeiten, Hardwarekosten und andere für die Anwendung wichtige Eigenschaften. Die Eignung sowie entsprechende Vor- und Nachteile können jedoch jeweils nur anwendungsspezifisch bewertet werden. Für diese Bewertung bildet der Werkzeugkasten einen Startpunkt. Den Test unterschiedlicher Messprinzipien in der eigenen Anwendung muss der Anwender selbst vorantreiben. Ziel sollte es dabei sein, einerseits ergebnisoffen, andererseits mit Blick auf die spätere Kostenstruktur der Anwendung vorzugehen.

Sensoren in MEMS-Technologie (micro-electromechanical systems) werden im Werkzeugkasten nicht explizit aufgeführt. Eine Vielzahl der aufgelisteten Sensortypen und Messprinzipien sind jedoch auch in MEMS-Bauweise, also mit sehr kompakten Abmessungen und zu typischerweise geringen Kosten für die jeweiligen Bauelemente verfügbar.

Bedingt durch die dynamische Entwicklung des Sensormarktes kann zudem weder bezogen auf Messgrößen noch auf Messprinzipien ein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden.

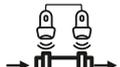
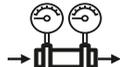
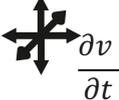
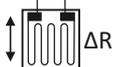
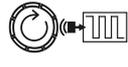
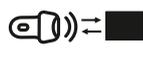
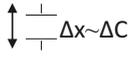
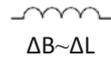
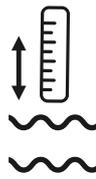
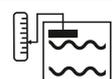
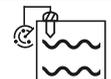
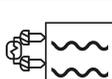
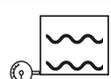
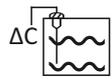
Werkzeugkasten Sensortyp	
Messgrößen	Sensortypen und Messprinzipien
Temperatur / Wärmestrahlung 	 $\Delta\Omega$ Widerstandsthermometer  Infrarot-Temperatur-sensoren  Thermoelement
Durchfluss 	 Flügelrad-Durchflusssensor  Ultraschall-Durchflusssensor  Magnetisch-induktiver Durchflusssensor  Differenzdruckbestimmung  Schwebekörper-Durchflusssensor
Kraft (inkl. Druck, Moment) 	 $\Delta U$ Piezoresistiver Sensor  $\Delta C$ Kapazitiver Sensor  $\Delta R$ Dehnmessstreifen (kraftbedingte Dehnung eines Körpers)  $\Delta p$ Druckänderung eines Fluids unter Kräfteinwirkung  $\alpha$ Indirekt durch Messung weiterer Dehnungen: siehe Position
Beschleunigung 	 $\Delta U$ Piezoelektrischer Sensor  $\Delta C$ Kapazitiver Sensor  $\Delta R$ Dehnmessstreifen (Dehnung eines Körpers durch Beschleunigung)  $\alpha$ Durch Positionsänderung: siehe Position
Hörschall / Körperschall 	 Piezo-Mikrofon  Kondensator-Mikrofon  Membran-Spule-Mikrofon
Position / Abstand / Winkel und ihre Änderungen (z.B. Geschwindigkeit) 	 Lineare / rotatorische Encoder (z.B. Potentiometer/ optisch)  Bildsensor CMOS/CCD  Ultraschallsensor  $\Delta x \sim \Delta C$ Kapazitiver Sensor  $\Delta B \sim \Delta L$ Induktiver Sensor  GPS/ GLONASS/ Indoor-GPS  Optischer Sensor, z.B. Lichtgitter/ Lichtschranke  Radar / Lidarsensor  Magnetfeldsensor  Laserinterferometer  Neigungssensor (z.B. über Erdbeschleunigung)  Endschalter (z.B. als elektron. Schalter)
Füllstand 	 Schwimmer  Ultraschallsensor  Radar/ Mikrowelle  Leitfähigkeitsmesser  Hydrostatische Messung (Druck Wassersäule)  Gravimetrische Messung (Behältergewicht)  $\Delta C$ Kapazitiver Sensor  Optischer Sensor, (z.B. Infrarotsensor)
Identifikation von Objekten 	 Bildsensoren  Barcode- / QR-Code-Scanner  RFID / NFC  Farbsensor

Abbildung 2: Werkzeugkasten Sensortyp

## Werkzeugkasten mechanische Integration

Der Werkzeugkasten mechanische Integration beleuchtet die Aspekte der Positionierung des Sensors sowie der Integration des Sensorbauelements in das Sensorgehäuse. Der Werkzeugkasten soll insbesondere dann angewandt werden, wenn ein neu zu entwickelndes Sensorsystem in Erwägung gezogen wird. Dies kann etwa der Fall sein, wenn besondere technische Anforderungen der Anwendung vorliegen oder wenn verfügbare Sensorsysteme nicht wirtschaftlich einsetzbar sind. Dabei ist zu beachten, dass eine Neuentwicklung oder Anpassung einer bestehenden Entwicklung nur attraktiv sein kann, wenn die zu erwartende Stückzahl entsprechend hoch ist. Die hohen Kosten für Entwicklung, Tests und Zertifizierungen können dann auf die hohe Stückzahl umgelegt werden. Typische Sensoranwender verfügen hier in der Regel nicht über das geeignete Knowhow zur Eigenentwicklung eines Sensorsystems. Dies ist Kernkompetenz der Sensorhersteller. Der Werkzeugkasten gibt dem Anwender vielmehr eine Grundlage für erste interne Schritte sowie Diskussionen mit Sensorherstellern, wenn die Entwicklung oder Anpassung eines spezifischen Sensorsystems in Betracht gezogen wird.

Dafür beleuchtet die erste Zeile den Aspekt der Sensorpositionierung zur Bestimmung der Messgröße. Diese grundlegende Fragestellung kann erheblichen Einfluss auf die Gestaltung und damit auch die Kosten des Sensorgehäuses haben. So ist zwischen einer direkten Messung der betreffenden Messgröße unmittelbar an der Wirkstelle und einer indirekten Messung sekundärer Effekte abzuwägen. Diese Entscheidung kann sowohl großen Einfluss auf die Qualität des Messsignals als auch auf den konstruktiven Aufwand des Sensorgehäuses haben. Auf den Sensor wirken dann entsprechend seiner Positionierung unterschiedliche Einflüsse, gegen die das Sensorgehäuse schützen muss. Hierzu zeigt die zweite Zeile mögliche Einflüsse auf, die dabei zu berücksichtigen sind.

Das Gehäuse selbst hat jedoch oft Auswirkungen auf das Messergebnis. So beeinflusst beispielsweise eine mechanische Dämpfung des Gehäuses die Messwerte eines Beschleunigungssensors. Bei der Auslegung des Sensors und Sensorgehäuses ist dies entsprechend zu berücksichtigen.

Dabei kann es sich lohnen, beim Gehäuse Alternativen in Betracht zu ziehen: Könnte der Sensor in bereits vorhandene Gehäuse für Elektronik integriert werden? Oder könnte ein Sensorbauelement auf eine bereits vorhandene und gekapselte Platine aufgebracht werden (siehe Zeile „Gehäuseintegration“)?

Der Schutz des Sensors beziehungsweise der elektrischen Komponenten durch das Gehäuse kann dann auf unterschiedliche Weisen erfolgen. So können die Komponenten durch Verschäumen oder Vergießen fixiert oder durch eine geeignete Positionierung und Orientierung im Gehäuse geschützt werden (siehe Zeile „Mechanischer Schutz des Messfühlers“).

Die Fertigung des Gehäuses ist stark abhängig von der zu erwartenden Stückzahl des Sensors sowie von den einzusetzenden Materialien und der Geometrie des Gehäuses. Neben den gängigen ur- und umformenden sowie spanenden Verfahren können insbesondere für kleinere Stückzahlen und Umsetzungen zu Evaluationszwecken 3D-gedruckte Gehäuse interessant sein (siehe Zeile „Gehäusefertigung“).

An der Schnittstelle zwischen mechanischer Integration und Elektrokonstruktion ist der Aspekt der Energieversorgung des Sensorsystems zu verorten. Je nach Zugänglichkeit an der Sensorposition, Verkabelungsaufwand und benötigter Lebensdauer kommen klassische drahtgebundene Ansätze, drahtlose Übertragungsmöglichkeiten, Batterien oder Ansätze des Energy Harvesting in Betracht (siehe Zeile „Energieübertragung“).

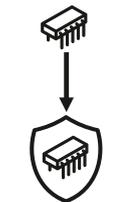
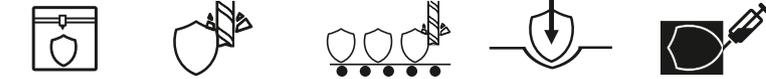
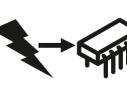
Werkzeugkasten mechanische Integration	
<p>Sensorpositionierung zur Bestimmung der Messgröße</p> 	 <p>Messung des primären Effekts an der Wirkstelle</p> <p>Messung von sekundären Effekten an der Wirkstelle</p> <p>Messung von sekundären Effekten außerhalb der Komponente / Maschine</p> <p>Auswertung weiterer Messdaten zur Interpretation (Sensorfusion)</p>
<p>Auf Sensor wirkende äußere Einflüsse</p> 	 <p>Temperaturen</p> <p>Vibrationen, Stöße, Kräfte</p> <p>Umgebungsdruck und Druck durch Flüssigkeiten</p> <p>Strahlung (z.B. Umgebungslicht, Fremdlicht)</p> <p>Kontakt mit Medien (z.B. Wasser, Dampf, Chemikalien)</p> <p>Elektromagnetische Felder</p>
<p>Beeinflussung der Messung durch das Gehäuse</p> 	 <p>Mechanische Beeinflussung / Dämpfung (z.B. Vibration)</p> <p>Magnetische / elektrische Schirmung</p> <p>Thermische Beeinflussung / Dämpfung</p>
<p>Gehäuseintegration</p> 	<p><b>Zusätzliches Gehäuse</b> ← → <b>Integration in Produktgehäuse</b></p>  <p>Neuentwicklung eines zusätzlichen Gehäuses für das Sensorsystem</p> <p>Nutzung des bestehenden Produkts als Teil des Sensorgehäuses</p> <p>Integration des Sensorelements in vorhandenes Gehäuse auf vorhandene Platine</p>
<p>Mechanischer Schutz des Messfühlers</p> 	 <p>Entkoppeln von Gehäuse und Platine von Komponente</p> <p>Vergießen oder Verschäumen der Komponenten</p> <p>Positionierung und Orientierung der Bauelemente auf Platine</p>
<p>Gehäusefertigung</p> 	<p><b>Kleinere Stückzahl</b> ← → <b>Größere Stückzahl</b></p>  <p>3D-Druck</p> <p>Spanende Einzelfertigung</p> <p>Spanende Serienfertigung</p> <p>Umformen, z.B. Tiefziehen</p> <p>Druckguss / Spritzguss</p>
<p>Energieübertragung</p> 	<p><b>Versorgung notwendig</b> ← → <b>Autarkes System</b></p>  <p>Drahtgebundene Energieübertragung</p> <p>Drahtlose Energieübertragung (insb. induktiv)</p> <p>Akku</p> <p>Lebensdauerbatterie</p> <p>Energy Harvesting (z.B. Solar-/Windenergie)</p>

Abbildung 3: Werkzeugkasten mechanische Integration

## Werkzeugkasten Datenverarbeitung

Der Werkzeugkasten Datenverarbeitung unterstützt in vier Ebenen die Ausgestaltung der Verarbeitung und das Bereitstellen der verarbeiteten Sensordaten. Dabei beschreibt er Einflussfaktoren auf die benötigte Leistung der Datenverarbeitung und mögliche Orte zur Verarbeitung und Anzeige der Daten. Die eigentliche Logik der Informationsgenerierung aus den Sensordaten wird davon getrennt im Werkzeugkasten Informationsgenerierung beleuchtet.

Die zur Verarbeitung der Sensordaten benötigte Rechenleistung bedingt auch die Kosten der notwendigen Hardware. Faktoren wie die Abtastfrequenz, die Auflösung des Messsignals sowie die zur Verarbeitung benötigten Rechenoperationen haben Einfluss auf die benötigte Leistungsfähigkeit der Hardware und werden daher in der ersten Zeile „Einflüsse auf die Leistung der Datenverarbeitung“ aufgezeigt.

**In Abhängigkeit von den benötigten Rechenressourcen, der Echtzeitfähigkeit oder Aspekten der Datensicherheit können verschiedene Orte der Datenverarbeitung in Betracht gezogen werden.**

In Abhängigkeit von den benötigten Rechenressourcen, der Echtzeitfähigkeit oder Aspekten der Datensicherheit kommen zudem verschiedene Orte der Datenverarbeitung in Betracht. Neben der direkten (Vor-)Verarbeitung im Sensorgehäuse kann die Verarbeitung in dezierten externen Auswertemodulen oder der Maschinensteuerung in Betracht gezogen werden. Sofern Anforderungen der Echtzeitfähigkeit oder Datensicherheitsaspekte nicht dagegen sprechen, kann auch die leichter skalierbare und oft kosteneffiziente Verarbeitung in Cloud-Ressourcen diskutiert werden. Die Datenverarbeitung ist dabei nicht als untrennbarer Monolith von Rechenschritten zu sehen, sondern kann

vielmehr auch anwendungsspezifisch zwischen unterschiedlichen Rechenressourcen mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen aufgeteilt werden (Zeile „Ort der Datenverarbeitung“).

Nach der Verarbeitung der Sensordaten ist das Ergebnis dem Anwender oder dem Prozess zur Verfügung zu stellen. Die Ebene der Bereitstellung der generierten Daten / Informationen beleuchtet die Möglichkeiten dafür. Diese reichen von einer direkten Anzeige oder Bereitstellung am Sensor über die Kommunikation mit der Anlagensteuerung bis hin zur lokal unabhängigen Bereitstellung in einer Cloud. Je nach Anwendungsfall können die Daten beziehungsweise Informationen entweder aufbereitet einem menschlichen Anwender oder zur direkten Weiterverarbeitung an eine Steuerung beziehungsweise Regelung zurückgemeldet werden (siehe Zeile „Bereitstellung der generierten Informationen / Daten“).

Eng mit der Bereitstellung der Daten verknüpft sind die zugehörigen Zugriffsrechte. Klassischerweise beschränken sich diese im industriellen Einsatz oft auf den eigentlichen Prozess und gegebenenfalls den Anlagenbediener. Um einen weiteren Nutzen aus den durch den Sensor generierten Daten zu ziehen und damit auch die Kosten des Sensorsystems zu rechtfertigen, kann die Diskussion über weitere Zugriffsrechte und damit Nutzungsmöglichkeiten der Daten geführt werden. So könnten etwa Sensor- oder Anlagenhersteller ein Interesse an Felddaten haben und, die geeignete Infrastruktur vorausgesetzt, entsprechende Zugriffsrechte zugewiesen bekommen (siehe Zeile „Zugriffsrechte auf Sensordaten“).

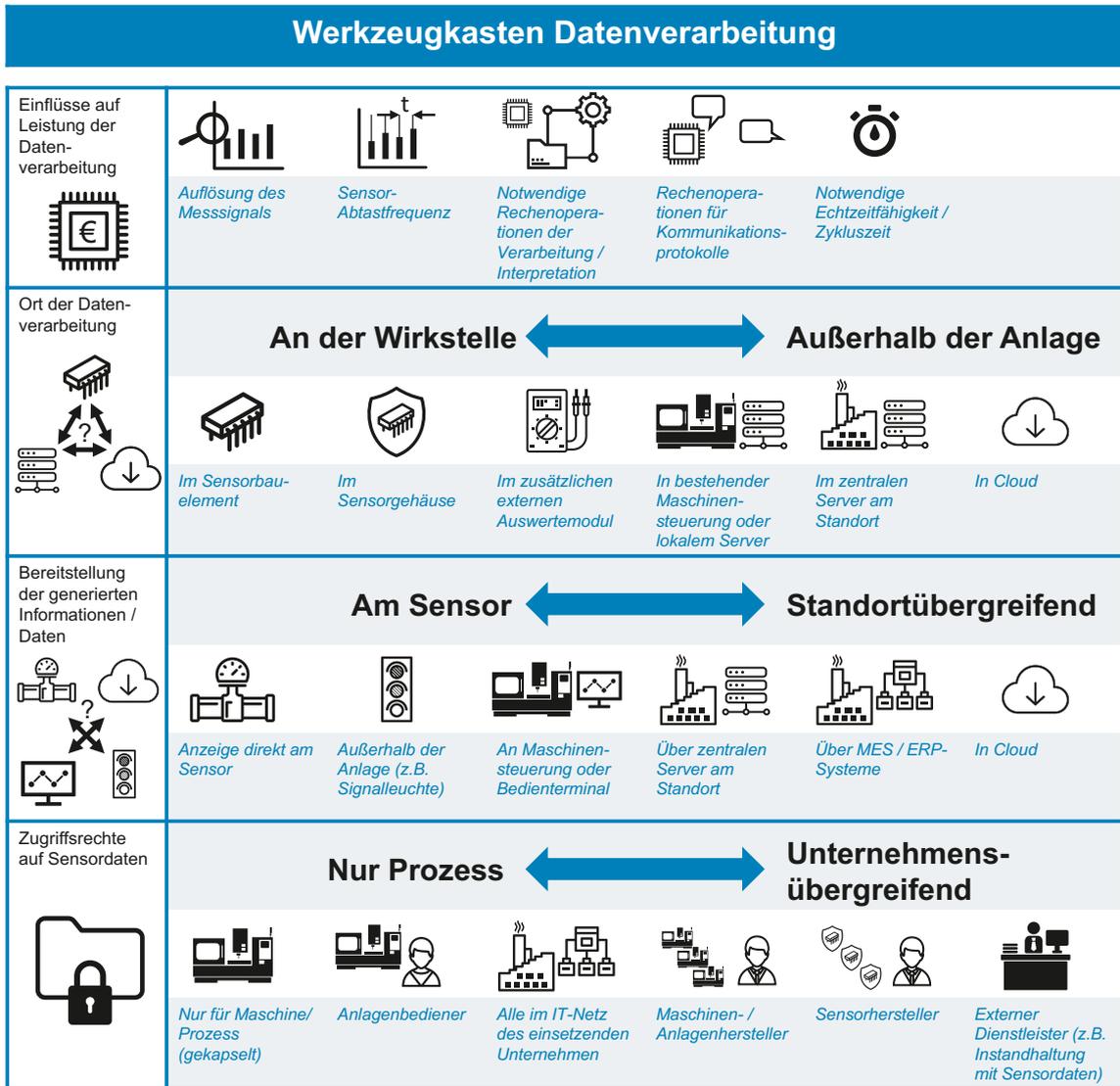


Abbildung 4: Werkzeugkasten Datenverarbeitung

## Werkzeugkasten Informationsgenerierung

Die Generierung von Informationen aus Sensordaten für den Anwender oder einen Prozess stellt zumeist das übergeordnete Ziel des Sensorsystems dar. Die Informationsgenerierung hat dabei indirekt Einfluss auf die Kosten des Sensorsystems: Einerseits bestimmen die für die Datenverarbeitung notwendigen Rechenoperationen die Kosten der benötigten Rechenressourcen, andererseits hat der gewählte Ansatz zur Interpretation der Sensordaten großen Einfluss auf die erforderliche Datenqualität und damit das benötigte Sensorsystem. So sind beispielsweise inertielle Messeinheiten (IMUs), wie sie zum Beispiel für Navigationszwecke in der Robotik eingesetzt werden können, erst durch die Kombination der Signale von Beschleunigungs-, Drehraten- und anderen Sensoren in der Lage, hohe Messgenauigkeiten zu erzeugen.

Der Werkzeugkasten Informationsgenerierung gliedert die Themenfelder auf dem Weg zur Gewinnung von Informationen aus Sensordaten.

**Der gewählte Ansatz zur Interpretation der Sensordaten hat großen Einfluss auf die erforderliche Datenqualität und damit auch auf das benötigte Sensorsystem.**

Die erste Ebene beschreibt den vorbereitenden Schritt des Erzeugens und Verstehens von Daten zur Vorverarbeitung und zum Erstellen des Modells zur Dateninterpretation. Meist ermöglicht erst die Vorverarbeitung der Sensordaten, beispielsweise mit Filtern, das „Verstehen“ der Daten – sei es durch den Menschen oder durch einen lernenden Algorithmus. Als Möglichkeiten kommen hier Linearisierungen, FFT (Fast Fourier Transformation) oder Bandpassfilter in Betracht.

Das im Anschluss zu erstellende Modell für die Dateninterpretation kann nun unterschiedlich komplex ausfallen: In Abhängigkeit von der Anwendung reicht die Komplexität der Modelle von einer rein schwellwert-basierten Aktion bis hin zur auf maschinellem Lernen basierten Prozessregelung. Die Modellierung kann dabei auf der zuvor durchgeführten Vorverarbeitung aufbauen und steht im Wechselspiel mit dieser. Unterteilt ist die Modellierung im Werkzeugkasten in die Bereiche der Modellierung durch den Menschen und das maschinelle Lernen. Die Modellierung durch den Menschen umfasst zum Beispiel die Definition und mathematische Beschreibung intuitiv festgelegter Regeln sowie die Definition fester oder dynamisch veränderlicher Eingriffsgrenzen.

Demgegenüber steht der Bereich des maschinellen Lernens. Hierfür gliedert der Werkzeugkasten unterschiedliche relevante Einsatzfälle: Die Klassifikation von Teilmengen in Datensätzen, das Erkennen von Anomalien in Datensätzen, die Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Messgrößen und Unbekannten durch Regression sowie die Reduktion von Dimensionen zur Auswahl für die Interpretation relevanter Datenquellen. Die zugehörigen Algorithmen und deren Implementierung sind anschließend in Abhängigkeit vom Anwendungsfall zu ermitteln und gegebenenfalls mit einer entsprechenden Vorverarbeitung der Daten zu kombinieren.

Nach der Wahl des Verfahrens zur Dateninterpretation ist die Evaluation der Informationsgenerierung durchzuführen. Hierfür werden Feldtests der Anwendung vorgenommen, welche die gelieferte Datenqualität mit Blick auf die Kosten des Sensorsystems kritisch hinterfragen. Darüber hinaus können potenziell kostensenkende Möglichkeiten der Datenreduktion diskutiert werden. Zudem ist zu bewerten, inwieweit eine Übertragbarkeit des Systems aus Sensor und Modell zur Informationsgenerierung auf verwandte Anwendungen möglich ist und damit potenziell höhere Stückzahlen absetzbar sind.

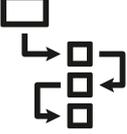
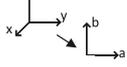
Werkzeugkasten Informationsgenerierung						
<p>Schritte zum Erzeugen und „Verstehen“ der Daten</p> 	 <p>Festlegung der Vorgehensweise zur initialen Datengenerierung</p>	 <p>Initiale Datengenerierung</p>	 <p>Aufbereitung und Visualisierung der gewonnenen Daten</p>	 <p>Plausibilitätsprüfung der Daten</p>		
<p>Optionen zur Vorverarbeitung der Sensordaten</p> 	 <p>Linearisierung / Fehlerkompensation der Messwerte</p>	 <p>Strukturierung und zeitliche Verknüpfung gewonnener Daten</p>	 <p>Analog-Digital-Wandlung (falls erforderlich)</p>	 <p>Transformation der Daten (z.B. Überführung aus Zeit- in Frequenzbereich mit FFT)</p>	 <p>Filterung der Daten (z.B. Bandpassfilter, Rauschunterdrückung)</p>	
<p>Optionen zur Modellierung des Zusammenhangs</p> 	<p>Modellierung durch den Menschen (z.B. statistisch / physikalisch / erfahrungsbasiert)</p>	 <p><math>F = m \cdot a</math></p> <p>Intuitive Beschreibung des Zusammenhangs und Definition von Regeln</p>	 <p>Physikalische Beschreibung des Prozesses zur Ableitung von Regeln</p>	 <p>Bestimmung von Bezugswerten für Eingriffsgrenzen (z.B. Standardabweichungen)</p>	 <p>Bestimmung starrer oberer / unterer Eingriffsgrenzen</p>	 <p>Bestimmung von Eingriffsgrenzen mit veränderl. Bezugswert (z.B. Mittelwert)</p>
	<p>Maschinelles Lernen (Zielsetzungen)</p>	 <p>Klassifikation von Datensätzen (z.B. als spezifische Ereignisse)</p>	 <p>Erkennung von Anomalien in Datensätzen (Anomaly detection)</p>	 <p>Beschreibung des Zusammenhangs von Messgrößen und Unbekannten mit Regression</p>	 <p>Dimensions-Reduktion zur Auswahl zu nutzender Daten</p>	
<p>Schritte zur Evaluation</p> 	 <p>Feldtest des Sensorsystems mit Datenvorverarbeitung und Interpretationsmodell</p>	 <p>Visualisierung der Sensordaten und der zugehörigen Reaktion des Interpretationsmodells</p>	 <p>Review der Sensordaten und des modellierten Zusammenhangs mit Systemwissen über die Anwendung</p>	 <p>Beurteilung der genutzten Datenqualität (z.B. Sind schlechtere Daten oder weniger Daten ausreichend?)</p>	 <p>Datenreduktion für effizientere Verarbeitung (z.B. Reduktion der Abtastfrequenzen)</p>	 <p>Bewertung der Übertragbarkeit auf verwandte Anwendungen (Anpassung von Parametern oder neue Modellierung notwendig?)</p>

Abbildung 5: Werkzeugkasten Informationsgenerierung

## Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien

Die Wahl der für ein Sensorsystem genutzten Kommunikationstechnologien hat nicht nur auf die Kompatibilität und Performance der Datenübertragung, sondern auch auf die Kosten des Gesamtsystems Einfluss. So ist die Wahl der eingesetzten Technologie beziehungsweise Schnittstelle häufig zunächst kunden- beziehungsweise branchengetrieben. Der Wildwuchs an verschiedenen Systemen für einzelne Anwender oder Branchen kann so zwar zum Teil eingedämmt werden. Für Sensorhersteller bleibt die Komplexität verschiedener Schnittstellen jedoch meist bestehen. Das äußert sich in entsprechend höheren Kosten, beispielsweise für Programmierung, Elektrokonstruktion und Fertigung.

Durch den Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien soll der Dialog zwischen Sensoranwender und Sensorhersteller unterstützt werden, um wirtschaftliche, technologische und organisatorische Aspekte unterschiedlicher Technologien erörtern zu können.

Liegen weniger Restriktionen vor oder sollen andere Optionen diskutiert werden, dient der Werkzeugkasten als Überblick über verschiedene Technologien und deren Eigenschaften. Dazu listet er gängige Kommunikationstechnologien auf. Zur Vergleichbarkeit der im Werkzeugkasten dargestellten Technologien werden Kommunikationsprotokolle, welche mit verschiedenen Kommunikationstechnologien genutzt werden können, nicht gesondert ausgewiesen. Ein solches Beispiel stellt das im Kontext von Industrie 4.0 häufig angewandte OPC UA dar.

Der Werkzeugkasten stellt hierzu verschiedene Kommunikationstechnologien in sieben Kategorien einander gegenüber. Neben der Gegenüberstellung der grundlegenden Topologie der Kommunikation, welche insbesondere Einfluss auf die Ausfallsicherheit hat, werden insbesondere Performance-Aspekte gegenübergestellt. So hängen die weiteren Kategorien, zum Beispiel die maximal erreichbare Leitungslänge

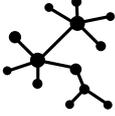
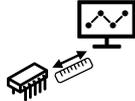
(bzw. der maximale Übertragungsweg bei drahtloser Übertragung) eng mit den erzielbaren Übertragungsgeschwindigkeiten und Zykluszeiten zusammen. Implementierte Methoden zur Fehlererkennung können zudem sicherstellen, dass auftretende Störungen bemerkt werden und nicht zu Folgefehlern führen.

Insbesondere mit Blick auf Anwendungen im Kontext von Industrie 4.0 lohnt die Diskussion der für die Anwendung tatsächlich sicherzustellenden Zykluszeit, Übertragungsgeschwindigkeit oder Fehleranfälligkeit. So haben viele „junge“ Anwendungen niedrigere Anforderungen an Zykluszeiten als klassische Sensoranwendungen, beispielsweise in der Automatisierungstechnik. Dies kann wiederum neue Möglichkeiten der Datenübertragung (zum Beispiel mit drahtloser Kommunikation) oder zur Datenverarbeitung (zum Beispiel in der Cloud) ermöglichen.

Neben den für Sensorhersteller entstehenden Entwicklungskosten zur Implementierung verschiedener Kommunikationstechnologien können auch für Sensoranwender Folgekosten durch bestimmte Technologien entstehen. Neben dem gegebenenfalls notwendigen Aufbau von Know-how zur Anwendung einer neuen Kommunikationstechnologie ist häufig zusätzliche Hardware erforderlich. Die Kategorie „Notwendige Hardware“ gibt hierzu einen Überblick.

Durch die häufig starke Abhängigkeit der Eigenschaften der Datenübertragung von den Randbedingungen der Anwendung, beispielsweise erreichbare Übertragungsgeschwindigkeiten und Leitungslängen in Abhängigkeit von vorliegenden elektromagnetischen Störungen, können die im Werkzeugkasten angegebenen Eigenschaften nur als Richtwert für erzielbare Werte gesehen werden. Auch kann durch die dynamische Entwicklung im Themenbereich kein Anspruch auf Vollständigkeit der dargestellten Technologien erhoben werden.

## Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien

	Topologie 	Max. Leitungslänge/ Reichweite* 	Übertragungsgeschwindigkeit* 	Zykluszeit* 	Fehlererkennung 	Bemerkungen 
Industrial Ethernet	Linie, Ring, Stern <sup>[1]</sup>	Ca. 500 m (<4 km mit Stermkoppler/ >100km mit Switching) <sup>[1]</sup>	100 Mbit/s bis 1Gbit/s (CC-Link IE Field) <sup>[2]</sup>	Bis <1 millisecc <sup>[2]</sup>	32 Bit CRC <sup>[3]</sup>	Leistungsfähiges Kommunikationssystem mit Echtzeitfähigkeit (Beispiel-Protokolle: Profinet, Sercos III) <sup>[2]</sup>
Sercos III	Ring, Linie <sup>[2]</sup>	Vgl. Ethernet	100 Mbit/s (redundante Datenübertragung bei Doppelring) <sup>[3]</sup>	31,25 microsec bis 65 millisecc <sup>[3]</sup>	CRC-Check (Sercos Safety), Fehlertoleranz gegen Kabelbruch <sup>[3,2]</sup>	Weiterentwicklung von Sercos auf Basis Standard-Ethernet <sup>[2]</sup>
Profibus-DP	Linie <sup>[3]</sup>	Bis 1200 m (geschirmte, verdrehte Zweidrahtleitung), bis 3 km (Glasfaser) <sup>[2]</sup>	bis 12 Mbaud (meist RS485 Technologie) <sup>[2]</sup>	6 millisecc <sup>[2]</sup>	Paritätsprüfung und Blockcheck (LRC) <sup>[3]</sup>	Breiter Anwendungsbereich in Fertigungs- und Prozessautomatisierung <sup>[2]</sup>
Interbus	Ring <sup>[3]</sup>	12,8 km (Kupferkabel) bis 80 km (Glasfaser) <sup>[2]</sup>	Bis 16 Mbit/s <sup>[2]</sup>	<4 millisecc <sup>[2]</sup>	16 Bit CRC <sup>[3]</sup>	Feldbus für industrielle Automation <sup>[2]</sup>
CAN-Bus	Linie <sup>[3]</sup>	Bis 1 km <sup>[1]</sup>	1 Mbaud <sup>[1]</sup>	160 microsec <sup>[3]</sup>	15 Bit CRC <sup>[3]</sup>	Schneller Bus, Nutzung in Fahrzeugtechnik oder Antriebstechnik <sup>[4]</sup>
AS-Interface	Linie, Baum <sup>[3]</sup>	100 m (Verlängerung mittels Repeater möglich) <sup>[1]</sup>	167 kbit/s <sup>[1]</sup>	5-10 millisecc <sup>[4]</sup>	Paritätsbit, Mehrfachabtastung <sup>[1]</sup>	Vorrangig für Kommunikation von dezentralen Aktoren/ Sensoren mit industr. Steuerungen <sup>[4]</sup>
IO-Link	Punkt-zu-Punkt <sup>[5]</sup>	max. 20 m, (ungeschirmt) <sup>[5]</sup>	4,8 kbaud bis 230,4 kbaud <sup>[5]</sup>	2 millisecc <sup>[8]</sup>	Robuste Komm. mit 24V-Pegel; Melden v. Fehlerereignissen durch Devices o. Master (z.B. fehlgeschl. Komm.) <sup>[5]</sup>	Standard zur Anbindung von Sensoren und Aktoren (Standard für Anschlüsse und Kommunikation) <sup>[5]</sup>
RS232	Punkt-zu-Punkt <sup>[1]</sup>	bis 900 m <sup>[1]</sup>	Bis zu 19,2 kbaud <sup>[1]</sup>	n.a.	Paritätsbit <sup>[3]</sup>	Erdungsymmetrische Schnittstelle (Signalpegel wird zur Masse gemessen) <sup>[1]</sup>
RS485	Mehrpunktverbindung, z.B. für Profibus geeignet <sup>[1]</sup>	Bis 1200 m <sup>[1]</sup>	93,75 kbaud <sup>[1]</sup>	n.a.	Paritätsbit möglich (vgl. Profibus <sup>[2]</sup> )	Einfach und oft kostengünstig, bevorzugt für hohe Übertragungsraten <sup>[2]</sup>
Analog (...20 mA)	Zweipunktverbindung <sup>[1]</sup>	Max. 1000 m <sup>[1]</sup>	9,6 kbaud <sup>[1]</sup>	n.a.	Paritätsbit <sup>[1]</sup>	Analogsignal in Form von Stromstärke <sup>[2]</sup>
WLAN	Infrastrukturnetz oder Ad-hoc-Netz (vermaschte Topologie mit Router) <sup>[6]</sup>	Ca. 10-20 m (für 11 Mbit) <sup>[7]</sup>	11 Mbit bis max. 6,9 Gbit/s bei 5GHz Frequenzband (abhängig vom genutzten Standard) <sup>[7]</sup>	n.a.	Barker Code (Wandlung von 1Bit in 11 Chips ermöglicht Lesen von fehlerhaften Bits für erhöhte Redundanz) <sup>[7]</sup>	Drahtlose Datenübertragung, Verschlüsselung notwendig <sup>[7]</sup>
Bluetooth	Ad-hoc-Netz (benötigt keine Infrastruktur) <sup>[6]</sup>	10-100 m je nach Endgerät <sup>[7]</sup>	Bis zu 3 Mbit/s (Bluetooth 2.0, EDR) <sup>[7]</sup>	625 microsec (min.) <sup>[7]</sup>	Forward Error Correction Algorithmus reduziert Übertragungsfehler <sup>[7]</sup>	Drahtlose Datenübertragung im Nahbereich mit geringem Energieverbrauch <sup>[6]</sup>

\*Die jeweilige Performance kann von weiteren Faktoren beeinflusst werden. Angegebene Werte dienen zur Orientierung.

Abbildung 6: Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien

## Einsatz des Leitfadens an einer Beispielanwendung aus der Textilindustrie

In Produktionsanlagen für Fasern, wie sie zum Beispiel in der Kleidungsindustrie oder in industriellen Anwendungen zum Einsatz kommen, werden Kunststoffäden durch eine Reihe spezieller, schnelldrehender Rollen behandelt. Oft wird eine ganze Reihe von Maschinen mit einer Vielzahl dieser Rollen, den sogenannten Galetten, miteinander verkettet. So kann der Ausfall einer Galette den Stillstand eines ganzen Moduls zur Folge haben. Aufgrund des kontinuierlichen, teilweise tagelangen Durchlaufes des Fadens ist eine Wartung jedoch nur zwischen einzelnen Chargen sinnvoll. Gesucht wird in der Beispielanwendung daher eine Sensorik, die es ermöglicht, Schäden an Galetten rechtzeitig zu erkennen und damit Folgeschäden zu vermeiden.

Im Folgenden werden zur Erläuterung der Leitfaden-Vorgehensweise die Leitfragen des Leitfadens anhand der Beispielanwendung erläutert und der Nutzen der einzelnen Werkzeugkästen skizziert.

Die Beispielanwendung wurde mit freundlicher Unterstützung der Oerlikon Textile GmbH & Co. KG (Oerlikon Barmag) untersucht.

### 1. Welcher Nutzen soll durch die Sensoranwendung entstehen?

Schäden an einer Galette können für den Anwender der Spinnanlage zu verminderter Produktqualität sowie zum Ausfall des Moduls führen. Zudem können durch beschädigte Galetten und deren Vibrationen Folgeschäden an dem Modul entstehen.

Eine frühzeitige Erkennung von Schäden würde es in der Beispielanwendung ermöglichen, die Reparatur der Galetten in geplanten Stillstandszeiten durchzuführen und damit weitere Kosten zu vermeiden. Auch die regelmäßige manuelle Prüfung der Galetten könnte unter Umständen reduziert werden.

### 2. Sind die Messgrößen bereits bekannt? Welche sollen erfasst werden?

Schäden an der Galette äußern sich nach Erfahrung des Anlagenherstellers insbesondere in zyklischen Kräften und entsprechenden Vibrationen durch die Rotation der Galetten. Im Werkzeugkasten Sensortyp sind hierfür die Messgrößen Kraft (inkl. Druck, Moment), Beschleunigung und Hörschall/Köperschall aufgeführt. Dabei entfallen für die Anwendung der Hörschall (durch den hohen, sich ändernden Geräuschpegel in der Produktionsumgebung) und der Köperschall (aufgrund der für die Anwendung aktuell zu hohen Kosten für Sensorik und Datenverarbeitung). Die Kraftmessung scheidet aus, da sie bei der Vielzahl an Galetten und möglichen Krafrichtungen einen zu hohen Integrationsaufwand erfordern würde.

Die Messgrößen oder Messprinzipien, die weiterhin in Frage kommen, können durch weitere Recherche und Voruntersuchungen weiter evaluiert werden. Hierfür wird in der Beispielanwendung eine Reihe von Beschleunigungssensoren aus dem industriellen Bereich sowie mit Ursprung im Consumer-Bereich getestet (siehe Darstellung auf Seite 22).



Abbildung 7: Galetten einer Spinnanlage für Textilfasern

### 3. Welcher Bauraum und welche Schnittstellen stehen für das Sensorsystem zur Verfügung?

Der für das Sensorsystem zur Verfügung stehende Bauraum und die dort vorhandenen Schnittstellen ergeben sich aus der Position des Sensorsystems, die wiederum abhängig vom Sensortyp ist. In der Beispielanwendung werden zunächst unterschiedliche Sensortypen an verschiedenen Positionen getestet, um in einem späteren Schritt den dort zur Verfügung stehenden Bauraum evaluieren zu können.

Die Verbindung zwischen den Sensoren und der Maschine soll für die Prüfung der unterschiedlichen Sensortypen reversibel und mit möglichst geringer mechanischer Dämpfung behaftet sein. Daher werden entsprechende Magnethalterungen und Adapterplatten verwendet. Für den Vergleich ist zunächst kein Datenaustausch mit der Maschine selbst nötig. Deshalb werden möglichst schnell herzustellende Schnittstellen zwischen den Sensoren und Auswertemodulen bzw. dem Mess-PC verwendet.

Wenn die Evaluierung der Sensortypen und Messpositionen abgeschlossen ist, kann erörtert werden, welcher Sensortyp zu welchen Kosten an den möglichen Messpositionen integrierbar wäre. Wenn eine Neuentwicklung eines Sensorsystems in Frage kommt, zeigt der Werkzeug-

kasten mechanische Integration die grundlegenden Aspekte hierfür auf. Der Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien gibt eine Übersicht über mögliche Schnittstellen zur Anbindung an vorhandene Systeme.

### 4. Welchen Umgebungsbedingungen wird das Sensorsystem ausgesetzt?

Im regulären Maschinenbetrieb der Beispielanwendung wäre ein Beschleunigungssensor an den möglichen Messpositionen Temperaturen bis zu 60°C sowie chemisch aggressiven Stoffen ausgesetzt. Darüber hinaus müsste er den Betriebsschwingungen der Maschine (mit und ohne schadhafte Galetten) dauerhaft standhalten können.

Bei der Auswahl von am Markt verfügbarer Sensorik sind diese Anforderungen entsprechend zu berücksichtigen. Fällt die Entscheidung zur Neuentwicklung eines Sensorsystems mit einem Sensorhersteller sind entsprechende Tests und Zertifizierungen notwendig. Der Werkzeugkasten mechanische Integration zeigt die grundlegenden Gesichtspunkte hierfür auf.

Zur Evaluation der unterschiedlichen Beschleunigungssensoren in der Beispielanwendung kann aufgrund der kurzen Messzeiten auf zusätzliche Schutzmaßnahmen verzichtet werden (für die verwendeten unzureichend geschützten Sensorsysteme).

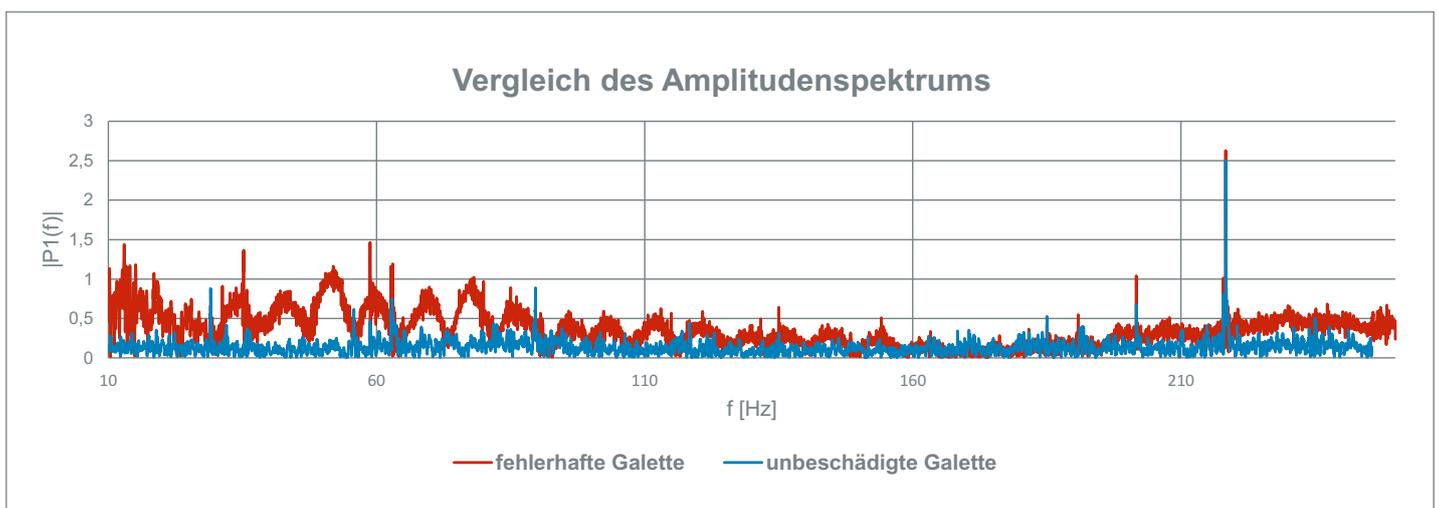


Abbildung 8: Vergleich des Amplitudenspektrums

## Beispielanwendung eines Werkzeugkastens

### Werkzeugkasten Sensortyp:

Zur Umsetzung der Anwendung werden die Messgrößen Kraft, Beschleunigung und Hörschall / Körperschall in Betracht gezogen. Aufgrund von Kostengründen und Störfaktoren in der Anwendung fallen zunächst Kraft und Hörschall / Körperschall weg.

<p>1. Kraft (inkl. Druck, Moment)</p> 	 $\Delta U$ <i>Piezoresistiver Sensor</i>	 $\Delta C$ <i>Kapazitiver Sensor</i>	 $\Delta R$ <i>Dehnmessstreifen (kraftbedingte Dehnung eines Körpers)</i>	 $\Delta p$ <i>Druckänderung eines Fluids unter Krafteinwirkung</i>	 $\alpha$ <i>Indirekt durch Messung weiterer Dehnungen: siehe Position</i>
<p>2. Beschleunigung</p>  $\frac{\partial v}{\partial t}$	 $\Delta U$ <i>Piezelektrischer Sensor</i>	 $\Delta C$ <i>Kapazitiver Sensor</i>	 $\Delta R$ <i>Dehnmessstreifen (Dehnung eines Körpers durch Beschleunigung)</i>	 $\alpha$ <i>Durch Positionsänderung: siehe Position</i>	
<p>3. Hörschall / Körperschall</p> 	 <i>Piezo-Mikrofon</i>	 <i>Kondensator-Mikrofon</i>	 <i>Membran-Spule-Mikrofon</i>		

Übrig bleibt Ebene 2. mit der Messgröße Beschleunigung. Durch weitere Recherche und Voruntersuchungen werden die in der Anwendung einsetzbaren Sensortypen anschließend ausgewählt und evaluiert. Getestet werden im Beispiel dafür Sensoren aus dem industriellen Bereich und Consumer Bereich.

### 5. Welche Eigenschaften soll das Messsignal für die geplante Dateninterpretation haben?

Für eine fundierte Aussage über die Eigenschaften des zur Dateninterpretation benötigten Messsignals und der dafür benötigten Datenverarbeitung (Werkzeugkasten Informationsgenerierung und Datenverarbeitung) sind Voruntersuchungen mit verschiedenen Messsystemen notwendig. Für den Vergleich der Sensoren in der Beispielanwendung werden die Sensoren mit maximal möglicher Abtastfrequenz und Auflösung abgetastet. Die Vorversuche mit Equipment nach Industriestandard sowie mit Equipment aus dem Consumer Bereich dienen dazu, die durch fehlerhafte Galetten angeregten Frequenzbereiche und Veränderungen der jeweiligen Messsignale zu identifizieren. Der Werkzeugkasten Informationsgenerierung zeigt hierzu eine Vorgehensweise und mögliche Ansätze zur Dateninterpretation auf.

Im Test der Beschleunigungssensoren mit intakten und fehlerhaften Galetten regen mehrere Galetten den jeweiligen Sensor mit ihren Schwingungen an. Zum Vergleich der Messsignale mit intakten und fehlerhaften Galetten wird in der Beispielanwendung eine schnelle Fourier Transformation (FFT) zur Interpretation des Frequenzspektrums angewandt. Abbildung 8 zeigt den Vergleich von gemessenem Frequenzspektrum und zugehörigen Amplituden im Bereich von 10 bis 240 Hz. Dabei zeigen sich bei fehlerhafter Galette insbesondere im niederfrequenten Bereich deutlich höhere Amplituden sowie zusätzliche Peaks. Die Messungen wurden dabei mit einem Multisensorsystem vom Typ Bosch XDK vorgenommen. Messungen mit weiteren Sensoren für den industriellen Einsatz zeigen ein ähnliches Verhalten.

Im nächsten Schritt können Untersuchungen mit weiteren fehlerhaften Galetten und eingebrachten Fehlern durchgeführt werden sowie Eingriffsgrenzen für die jeweiligen Frequenzbereiche festgelegt werden.

#### 6. Was hat ein Ausfall / eine Fehlfunktion des Sensorsystems zur Folge?

Eine Fehlfunktion des Sensorsystems kann im späteren Betrieb zur Folge haben, dass Fehler an der Galette vom System nicht korrekt interpretiert und damit erkannt werden. Dies kann wiederum Stillstände der Maschine und weitere Folgeschäden verursachen. Umgekehrt können bei falschen Messdaten oder falscher Interpretation der Daten überflüssige Reparaturen erfolgen. Möglichkeiten zur Selbstdiagnose und Plausibilitätsprüfung der Sensordaten können daher in Betracht gezogen werden.

Tests mit intakten und fehlerhaften Galetten sowie längere Feldtests helfen dabei, die Robustheit des ausgewählten Sensorsystems sowie der Dateninterpretation zu evaluieren (Werkzeugkästen mechanische Integration und Informationsgenerierung).

#### 7. In welcher Stückzahl soll das Sensorsystem eingesetzt werden?

Die Abschätzung der potenziell absetzbaren Stückzahl kann über die Anzahl der abgesetzten Maschinen sowie den Anteil der Kunden, die das System gewinnbringend einsetzen können, erfolgen. Hierfür ist zum einen die Übertragbarkeit des Systems auf verwandte Maschinen zu prüfen. Weitere Feldtests und ggf. Anpassungen an der Dateninterpretation (Werkzeugkasten Informationsgenerierung) geben darüber Aufschluss. Der Anteil der Maschinen, die voraussichtlich mit dem System ausgestattet werden könnten, folgt aus dem Austausch mit Kunden und Vertrieb. Die schnelle Umsetzung eines ersten funktionsfähigen Systems hilft, den Nutzen zu demonstrieren und konkrete Entscheidungsgrundlagen zu schaffen. Mit Zielpreisen für das Sensorsystem kann im Wechselspiel der Dialog mit Sensorherstellern geführt werden.

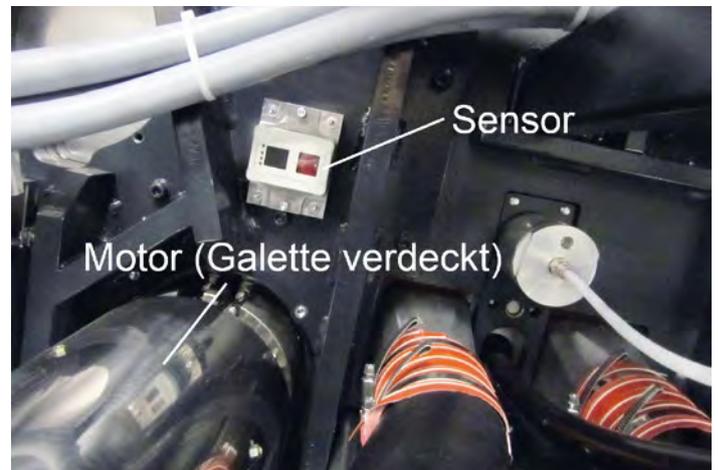


Abbildung 9: Untersucher Beschleunigungssensor in der Beispielanwendung

#### Zusammenfassung

Die Leitfragen und zugehörigen Werkzeugkästen des Leitfadens dienen als Stützpfiler zu einer systematischen Auseinandersetzung mit der Sensoranwendung. Wie im Fall der Beispielanwendung führen sie zu einer Konkretisierung der Anforderungsspezifikation und helfen damit bei den weiteren Schritten zur Umsetzung. Die Werkzeugkästen zeigen dazu thematisch gegliedert Optionen und Vorgehensweisen für die konkrete Umsetzung der Anwendung auf – sei es für erste Tests oder für die Serienanwendung. Der Detailgrad der Anforderungsspezifikation und der Arbeitsschritte, die mit den einzelnen Leitfragen verbunden sind, hängen somit vom Entwicklungsstadium der Anwendung ab.

So ist es, wie in der Beispielanwendung, oft sinnvoll, zunächst eine schnelle praktische Umsetzung der Anwendung anzustreben und verschiedene Sensorsysteme mit unterschiedlicher Kostenstruktur und technischen Vor- und Nachteilen gegenüberzustellen. Darauf aufbauend ist dann die Entscheidung zu treffen, ob am Markt verfügbare Sensorik technisch und wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann, oder ein angepasstes Sensorsystem entwickelt werden müsste - und auch hier entscheidet die voraussichtlich absetzbare Stückzahl wieder über die Wirtschaftlichkeit der Anwendung.

## Handlungsempfehlungen für Sensorhersteller

### **Zukunftsträchtige Leitanwender und Leitanwendungen identifizieren**

Nicht erst seit gestern haben Wettbewerbs- und Kostendruck Einzug in der Sensorbranche gehalten. Die Effizienz der Entwicklung und Fertigung von Sensorsystemen spielt für Sensorhersteller ebenso eine Rolle wie die Ausrichtung des eigenen Produktportfolios, um ein günstiges Verhältnis aus Stückzahlen und Ertrag pro verkauftem Sensorsystem zu erzielen.

Aus Anwendersicht kann das für spezielle Anwendungen zu unter- oder überdimensionierten Lösungen führen – nicht jeder Anwender nutzt den in der Produktspezifikation definierten Messbereich, die Messgenauigkeit oder die Schutzklasse aus. Bei Anwendungen mit zunächst unklaren Anforderungen und scheinbarem Nischencharakter, etwa aus dem Bereich von Industrie 4.0, erscheint die Entwicklung angepasster Sensorsysteme oftmals noch unattraktiver.

Um diesem Dilemma begegnen zu können, gibt der Leitfaden zunächst den Sensoranwendern Hilfestellungen, um selbst Konzepte für Sensorsysteme evaluieren zu können und damit früher technische Anforderungen, den wirtschaftlichen Nutzen und mögliche Stückzahlen abschätzen zu können. Die Zusammenarbeit mit Sensorherstellern wird dadurch jedoch nicht obsolet. Im Gegenteil: Sensorhersteller sollten gezielt und früh die Kooperation mit den potenziellen „Leitanwendern“ von morgen suchen, die in aussichtsreichen Anwendungen vom Know-how des Sensorherstellers profitieren. Neue Leitanwender für neue Geschäftsfelder helfen dann im Gegenzug, das eigene Profil im Bereich „junger“ Anwendungen zu finden und in neue Sensorprodukte fließen zu lassen. Insbesondere bei diesen „jungen“ Anwendungen, wie aus dem Bereich Industrie 4.0, sollte dabei stets die Kostensensibilität der Anwendung im Fokus stehen.



Für den Sensorhersteller gilt es, die Gratwanderung zwischen brachliegenden neuen Marktpotenzialen und einer Zerfaserung und Kannibalisierung im eigenen Produktportfolio zu meistern. Ein Blick auf den Consumer-Sektor weist hier eine Reihe eigener Ansätze auf, die im Folgenden beleuchtet werden sollen.

### **Welche Aspekte des Consumer-Sektors sind übertragbar?**

Ausgangspunkt des Leitfadens war die Frage, warum Sensorsysteme aus dem Consumer-Sektor zu deutlich günstigeren Kosten angeboten werden können als solche für den industriellen Bereich. Bei der Analyse zeigte sich, dass insbesondere die höheren Anforderungen an Robustheit und Zuverlässigkeit sowie die geringeren Stückzahlen Kostentreiber sind. Gleichwohl kann der Blick über den Tellerrand lohnen. Hierzu werden zum Abschluss drei zum Teil konträre Fragen für Sensorhersteller formuliert:

**Sensorhersteller sollten gezielt und früh die Kooperation mit den potenziellen „Leitanwendern“ von morgen suchen, die in aussichtsreichen Anwendungen vom eigenen Know-how profitieren.**

#### **1. Können bei Sensorsystemen für neuartige Anwendungen kostensenkende Abstriche bei Robustheit oder Zuverlässigkeit gemacht werden?**

Die Umgebungsbedingungen und die geforderte Zuverlässigkeit von Sensorsystemen im Consumer-Sektor sind in der Regel niedriger angelegt als solche für Anwendungen aus der Industrie. Es kann jedoch die Frage gestellt werden, ob solche kostentreibenden Faktoren für alle Anwendungen gleichermaßen berücksichtigt werden müssen.

#### **2. Mit welchen Hilfestellungen können Entwickler von industriellen Sensoranwendungen Lösungen zukünftig schneller und einfacher umsetzen?**

Über Entwicklungsplattformen für Apps geben Hersteller von Consumer-Elektronik externen Entwicklern von Applikationen einfache Zugänge zur Einbindung von etwa in Smartphones vorhandenen Sensoren. Die Entwicklung von Apps wird damit durch „Ökosysteme“ unterstützt. Entwickler können ihr spezifisches Domänenwissen einbringen, statt sich auf die Sensorik zu konzentrieren. Damit können Anwendungen früh an den Markt gebracht und in ihrem Nutzen getestet werden.

#### **3. Kann eine weiter gesteigerte Universalität von Sensorsystemen dazu beitragen, mit geringen Mehrkosten Anwendungsspektren und damit die jeweiligen Stückzahlen deutlich zu erhöhen?**

Im Consumer-Sektor wird in Sensorsystemen häufig eine Vielzahl von Sensoren vereint, deren eigentliche Nutzung sich erst später durch entsprechende Anwendungen (Apps) entscheidet. Hierdurch steigt die Universalität des Systems und damit auch die absetzbare Stückzahl – das Sensorsystem, beispielsweise als Teil eines Smartphones, kann kostengünstig angeboten werden.

#### **Gemeinsam Lösungen finden**

Für Industrie 4.0 und die damit verbundene Vernetzung der Maschinen und ihrer Komponenten erweisen sich Sensorkosten schnell als K.-o.-Kriterium. Bei der Suche nach Lösungen können Branchen als Ideengeber dienen, in denen Schlagworte wie das Internet der Dinge schon heute Realität sind. Die Zusammenarbeit mit innovativen Anwendern und „jungen“ industriellen Anwendungen wird dabei noch wichtiger – denn erst in der Umsetzung zeigen sich die konkreten Anforderungen an die Sensorsysteme von morgen.

## Industrie 4.0 im VDMA

**Die Digitalisierung wird alle Bereiche der Industrie erfassen und prägen. Ob Revolution oder evolutionärer Prozess – jedes Unternehmen muss seinen Weg zu Industrie 4.0 finden. Der VDMA begleitet und unterstützt seine Mitglieder dabei. Im Forum Industrie 4.0 bündelt der Verband seine vielfältigen Aktivitäten, die sich aus dem Dreiklang Information, Wissenstransfer und Vernetzung zusammensetzen.**

### Politik & Netzwerke

Auf dem Weg zum Leitmarkt und Leitanbieter von Industrie 4.0 müssen wichtige Rahmenbedingungen mit Politik und Gesellschaft vereinbart werden. Hohe Anforderungen an Forschung und Entwicklung, Ausbildung und Qualifizierung, Normen und Standards, Rechts- und Datensicherheit müssen erfüllt werden, um den Industriestandort Deutschland in die Zukunft zu führen.

### Produktion & Geschäftsmodelle

Industrie 4.0 setzt auf die Vernetzung in der Produktion durch den Einsatz moderner Internettechnologien. Ziel ist die Kommunikation von Betriebsmitteln, Produkten und deren Komponenten, um so effiziente und kundenindividuelle Produktionsprozesse sicherzustellen. Automatisierung und Produkte mit Losgröße 1 schließen einander zukünftig nicht mehr aus. Das Potenzial der Vernetzung und der kundenindividuellen Produktion liegt in innovativen Geschäftsmodellen über den gesamten Produktlebenszyklus – von der Konzeption bis hin zur Entsorgung.

### Forschung & Innovation

Bei der Implementierung von Industrie 4.0 entscheiden die Ergebnisse der Forschung maßgeblich über den Erfolg über die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts Deutschland. Wichtig sind hierbei verlässliche Förderinstrumente in der Produktions- und IKT-Forschung sowie die Berücksichtigung der Anforderungen des mittelständisch geprägten Maschinen- und Anlagenbaus. Wesentliche Erfolgsfaktoren sind die Vernetzung aller Akteure und der schnelle

Transfer von Forschungsergebnissen in die Breite der industriellen Praxis.

### Normung & Standards

Industrie 4.0 ermöglicht die firmenübergreifende Vernetzung und die Integration verschiedener Wertschöpfungsnetzwerke. Hierzu sind Normen und Standards von grundlegender Bedeutung. Denn sie definieren die Mechanismen der Zusammenarbeit und die auszutauschenden Informationen. Deshalb ist es entscheidend, die Standardisierung und offene Standards für eine Referenzarchitektur mitzugestalten und die relevanten Akteure in einen aktiven Dialog einzubinden.

### IT-Sicherheit & Recht

Im Kontext von Industrie 4.0 ist IT-Sicherheit für den geschützten Betrieb unternehmensübergreifender Fertigungsprozesse essenziell. Der automatisierte Datenaustausch vernetzter Produktionssysteme muss sicher und zuverlässig gestaltet werden können. Es gilt, die Identifizierung der Prozessakteure zu kontrollieren und das Know-how von Produkten, Maschinen und Anlagen zu schützen.

Bereits heute sind im Umfeld von Industrie 4.0 Auswirkungen auf rechtliche Sachverhalte erkennbar. Deshalb wird die Weiterentwicklung und Neuauslegung bestehenden Rechts eine zentrale Aufgabenstellung bei der Umsetzung von Industrie 4.0 in den Unternehmensalltag sein.

### Mensch & Arbeit

Industrie 4.0 wird die Arbeit und ihre Prozesse maßgeblich verändern. Die Beschäftigten in der Fabrik der Zukunft werden stärker als je zuvor gefragt sein, Abläufe zu koordinieren, die Kommunikation zu steuern und eigenverantwortliche Entscheidungen zu treffen. Die Tätigkeiten werden sowohl in technologischer als auch in organisatorischer Sicht anspruchsvoller, interdisziplinäre Kompetenzen werden immer wichtiger. Der Staat, seine Bildungseinrichtungen und die Unternehmen müssen sich auf diese Herausforderungen einstellen.

## Industrie 4.0 – Ihre Ansprechpartner im VDMA

### Dietmar Goericke

Geschäftsführer  
Forum Industrie 4.0  
Telefon +49 69 6603-1821  
E-Mail [dietmar.goericke@vdma.org](mailto:dietmar.goericke@vdma.org)

### Dr. Beate Stahl

Projektleitung  
Forum Industrie 4.0  
Telefon +49 69 6603-1295  
E-Mail [beate.stahl@vdma.org](mailto:beate.stahl@vdma.org)

### Anita Siegenbruk

Assistenz  
Forum Industrie 4.0  
Telefon +49 69 6603-1906  
E-Mail [anita.siegenbruk@vdma.org](mailto:anita.siegenbruk@vdma.org)

### Judith Binzer

Forschung & Innovation  
Telefon +49 69 6603-1810  
E-Mail [judith.binzer@vdma.org](mailto:judith.binzer@vdma.org)

### Dr. Christian Mosch

Produktion  
Normung & Standards  
Telefon +49 69 6603-1939  
E-Mail [christian.mosch@vdma.org](mailto:christian.mosch@vdma.org)

### Andreas Faath

Normung & Standards  
Telefon +49 69 6603-1495  
E-Mail [andreas.faath@vdma.org](mailto:andreas.faath@vdma.org)

### Steffen Zimmermann

IT-Sicherheit  
Telefon +49 69 6603-1978  
E-Mail [steffen.zimmermann@vdma.org](mailto:steffen.zimmermann@vdma.org)

### Prof. Claus Oetter

IT-Technologien & Software  
Telefon +49 69 6603-1667  
E-Mail [claus.oetter@vdma.org](mailto:claus.oetter@vdma.org)

### Daniel van Geerenstein

Recht  
Telefon +49 69 6603-1359  
E-Mail [daniel.vangeerenstein@vdma.org](mailto:daniel.vangeerenstein@vdma.org)

### Fabian Seus

Competence Center Arbeitsmarkt  
Telefon +49 69 6603-1350  
E-Mail [fabian.seus@vdma.org](mailto:fabian.seus@vdma.org)

### Dr. Jörg Friedrich

Bildung  
Telefon +49 69 6603-1935  
E-Mail [joerg.friedrich@vdma.org](mailto:joerg.friedrich@vdma.org)

### Andrea Veerkamp-Walz

Arbeitsorganisation und -gestaltung  
Telefon +49 69 6603-1488  
E-Mail [andrea.veerkamp-walz@vdma.org](mailto:andrea.veerkamp-walz@vdma.org)

### Robert Konjusic

Geschäftsmodelle & Dienstleistungen  
Telefon +49 69 6603-1167  
E-Mail [robert.konjusic@vdma.org](mailto:robert.konjusic@vdma.org)

### Volker Schnittler

Plattformökonomie  
Telefon +49 69 6603-1532  
E-Mail [volker.schnittler@vdma.org](mailto:volker.schnittler@vdma.org)

### Kai Peters

Europa  
Telefon +32 2 7 06 82 19  
E-Mail [kai.peters@vdma.org](mailto:kai.peters@vdma.org)

### Frank Brückner

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Telefon +49 69 6603-1864  
E-Mail [frank.brueckner@vdma.org](mailto:frank.brueckner@vdma.org)

### Dr. Beate Metten

Mitgliederkommunikation  
Telefon +49 69 6603-1231  
E-Mail [beate.metten@vdma.org](mailto:beate.metten@vdma.org)

## 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)

### Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

#### wbk Institut für Produktionstechnik

Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
Internet: [www.wbk.kit.edu](http://www.wbk.kit.edu)

### Projektleitung

VDMA-Forum Industrie 4.0  
Judith Binzer

### Mitarbeit

VDMA Elektrische Automation  
Peter Früauf  
VDMA Bayern  
Dr. Thomas Kinkeldei

### Inhaltliche Beiträge

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
wbk Institut für Produktionstechnik  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer  
Benedikt Klee  
Andreas Spohrer  
Simon Merz  
Kontakt: [juergen.fleischer@kit.edu](mailto:juergen.fleischer@kit.edu)

### Beteiligte Firmen

ABB Turbo Systems AG  
Balluff GmbH  
Bosch Connected Devices and Solutions GmbH  
Bosch Rexroth AG  
HEITRONICS Infrarot Messtechnik GmbH  
HOMAG GmbH  
KSB Aktiengesellschaft  
Leuze electronic GmbH + Co. KG  
MAHLE International GmbH  
Oerlikon Barmag Oerlikon Textile GmbH & Co. KG  
Pepper+Fuchs GmbH  
SICK AG  
WEBER-HYDRAULIK GMBH

### Chefredaktion

VDMA-Forum Industrie 4.0  
Dr. Beate Metten

### Design und Layout

VDMA DesignStudio / VDMA Verlag GmbH

### Erscheinungsjahr

2018

### Druck

h. reuffurth gmbh

### Copyright

VDMA, KIT wbk Institut für Produktionstechnik

### Bildnachweise

Titelbild: Fotolia / zhu difeng  
Seite 1: VDMA  
Seite 2: KIT wbk  
Seite 3: Fotolia / zhu difeng  
Seite 20: Oerlikon Textile GmbH & Co. KG  
Seite 23: Oerlikon Textile GmbH & Co. KG  
Seite 24: Fotolia / zhu difeng

### Grafiken

KIT wbk Institut für Produktionstechnik  
Piktogramme: <https://thenounproject.com>

### Quellenverzeichnis

- [1] Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik, Gerhard Schnell, Bernhard Wiedemann (HRSG), Vieweg Teubner Verlag, 2008
- [2] Industrielle Kommunikation mit Feldbus und Ethernet, Frithjof Klasen, Volker Oestreich, Michael Volz (Herausgeber), „HMS Akademie“, VDE-Verlag, 2010
- [3] Ein Beitrag zur Standardisierung von Kommunikationsschnittstellen für Industrieroboter und komplexe Sensoren, Michael Gauß, Dissertation, Logos-Verlag, 2007
- [4] AS-Interface, CanOpen, Online: [feldbusse.de](http://feldbusse.de), Hrsg: HMS Industrial Networks GmbH, abgerufen am 18.11.2017
- [5] IO-Link Systembeschreibung – Technologie und Anwendung, Hrsg: IO-Link Firmengemeinschaft, 2013
- [6] Rechnernetze und Internet, Prof. Dipl.-Ing. Erich Stein, Carl Hanser Verlag, 2008
- [7] Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme LTE-Advanced, UMTS, HSPA, GSM, GPRS, Wireless LAN, Bluetooth, Martin Sauter, Springer Vieweg, 2015
- [8] IO-Link FAQs, Online: [io-link.com](http://io-link.com), Hrsg: TMG Technologie und Engineering GmbH, abgerufen am 14.08.2018

### 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 Str. 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)

**Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

**wbk Institut für Produktionstechnik**

Kaiserstraße 12

76131 Karlsruhe

Internet [www.wbk.kit.edu](http://www.wbk.kit.edu)