

# Sensoren – die Pforten zur Smart Factory

Messtechnik-Lösungen  
für die Industrie 4.0



## White Paper

# Inhalt

Orientierung im Buzzword-Dschungel	3
Auf einen Blick: Was muss Messtechnik in der Industrie 4.0 leisten?	4
Big Data: Der Stoff, aus dem Digitale Zwillinge sind	6
Was brauche ich für meine Smart Factory? Schlüsselfragen für die Wahl des passenden Messsystems	7
Optische vs. taktile Messtechnik in der Industrie 4.0	10
Fazit: Prozesse ganzheitlich denken	12
Ausblick: Wohin entwickelt sich Messtechnik 4.0?	13

## Orientierung im Buzzword-Dschungel

“Industrie 4.0 – wo kann ich das kaufen?” Diese Frage stellen sich Entscheider früher oder später, wenn sie vor der Mammutaufgabe stehen, ihre bestehende und bewährte Fertigung zu einer Smart Factory zu transformieren – und das unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte. Wo beginnt man, wenn es darum geht, aus einer Buzzword-Wolke Zusammenhänge zu destillieren?

Der Ausgangspunkt befindet sich an der Quelle der Industrie 4.0: den Daten, oder, genauer gesagt, Big Data. Auf Basis von Big Data wird es möglich, die Fertigungsrealität nicht nur möglichst genau zu beschreiben, sondern sie auch fortzuschreiben – anhand von datenbasierten Modellen, mit denen sich Ereignisse sowie das Verhalten bestimmter Produkte abbilden und prognostizieren lassen.

Erzeugt werden die dazu benötigten Daten von intelligenter, vernetzter Messtechnik, die als Schnittstelle zwischen der realen Fertigungsumgebung und ihrem virtuellen Abbild (= Digitaler Zwilling) fungiert. Um die für Industrie 4.0 erforderliche Datenmenge und Datenqualität zu generieren, muss die eingesetzte Messtechnik bestimmte Anforderungen erfüllen.

Der Einzug von Big Data in die Messtechnik beeinflusst wiederum den Messprozess an sich, beispielsweise die Prüfplanung: Am Digitalen Zwilling wird das grundsätzliche Objektverhalten simuliert, um dann bestimmte Auffälligkeiten anhand von realen Messdaten zu validieren. Diesen Paradigmenwechsel in der Prüfplanung gilt es, bei der (Neu-)Konzeption der Fertigung zu beachten.

Welche Anforderungen Industrie 4.0 konkret an Messtechnik stellt und was dies im Umkehrschluss für die Konzeption der Fertigung sowie die Prüfplanung bedeutet, wird in diesem Whitepaper erläutert. Impulse für die (Weiter-)Entwicklung der eigenen Fertigung bekommen Entscheider in Form einer Fragen-Checkliste an die Hand. Universitätsprofessor Robert Schmitt, Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement im Werkzeuglabor (WZL) der RWTH Aachen, ordnet die aktuellen Trends ein und gibt einen Ausblick, wohin die Reise in Zukunft geht.

# Auf einen Blick: Was muss Messtechnik in der Industrie 4.0 leisten?

Ein wichtiger Treiber der Industrie 4.0 ist der Traum von einer optimalen Ressourcenauslastung in der Fertigung. Erreicht wird diese durch eine Minimierung der Rüstzeiten in flexiblen, modularen Anlagen sowie eine weitgehende Automatisierung der Qualitätskontrolle und der Wartung durch selbstüberwachende Systeme. Vor dem Hintergrund dieser allgemeinen Anforderungen verlangt die Industrie 4.0 insbesondere von der Messtechnik, die in der Smart Factory zum Einsatz kommt, nichts Geringeres als die sprichwörtliche "eierlegende Wollmilchsau." (Bild 1)

In der idealen Smart Factory müssen Sensoren Messdaten mit einer möglichst geringen Messunsicherheit in Echtzeit bereitstellen, und zwar in einem Format, das eine einfache Verarbeitung, Kommunikation und Aufbereitung der Messdaten entlang der gesamten Prozesskette ermöglicht, vom Sensor bis in die Cloud. Idealerweise lässt sich das Messsystem modular erweitern, um mehrere Messgrößen in einem Gerät abzubilden. Bei alledem soll sich die eingesetzte Messtechnik unkompliziert in die Fertigungslinie integrieren lassen, ohne Einfluss auf die Messgröße oder den Prozess zu nehmen – gleichzeitig aber in der Lage sein, sich bei Bedarf selbst zu kalibrieren oder ein Nachjustieren des Prozesses zu veranlassen, etwa bei der Überschreitung bestimmter Grenzwerte. Die analoge Signalverarbeitung reicht für die Messtechnik 4.0 längst nicht mehr aus; integrierte Funktionen zur digitalen Datenverarbeitung, Selbstdiagnose, Selbstadaptation sowie zum Datentransfer sind inzwischen mehr Pflicht als Kür.

Möglichst gering sollen der Wartungsaufwand, der Energiebedarf sowie selbstverständlich die Kosten für die Sensorik bleiben – bei einer hohen elektrischen Stabilität und Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Faktoren (EMV, Klima, Stöße und Schwingungen, ggf. Ex-Schutz). Denn gemessen wird in der Smart Factory, wo

immer möglich, nicht am Ende des Prozesses oder in einem separaten Messraum, sondern zunehmend inline, am und im Prozess. Insbesondere in der Qualitätssicherung geht außerdem der Trend weg von der Stichprobenmessung hin zu einer 100-Prozent-Messung.



Bild 1: Auf einen Blick: Zentrale Anforderungen der Industrie 4.0 an die Messtechnik.

(Quelle/Copyright: Regina Levenshtein)

# Big Data: Der Stoff, aus dem Digitale Zwillinge sind

Als einen wichtigen Treiber für diesen Paradigmenwechsel hin zur Messtechnik 4.0 sieht Professor Robert Schmitt, Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement im Werkzeuglabor (WZL) der RWTH Aachen, die zunehmende Popularität des Digitalen Zwillings.

Der Digitale Zwilling bildet die Realität eines Produkts oder eines Prozesses auf der Basis von Daten und Algorithmen ab. Dies setzt voraus, dass zu den gefragten Merkmalen eine ausreichende Datenbasis passend aufbereitet vorliegt. Und hier schließt sich auch der Kreis zu den Anforderungen der Industrie 4.0 an die Messtechnik: Als Schnittstelle zwischen der Realität und ihrem virtuellen Konterfei liefern cyber-physikalische Messsysteme mit ihren Daten die benötigte Informationsbasis. „Mithilfe des Digitalen Zwillings werden Modelle anhand von realen Fertigungsdaten parametrieren“, erklärt Prof. Schmitt.

**„Was ist ein Digitaler Zwilling“?**  
Ein Digitaler Zwilling (englisch „Digital Twin“) bezieht sich auf ein computergestütztes Modell eines materiellen oder immateriellen Objekts, welches für verschiedene Zwecke verwendet werden kann. Selektiv wird auch der Begriff „Digitaler Avatar“ verwendet. \*

Der Digitale Zwilling ist jedoch mehr als eine bloße Darstellung der Realität: Er ermöglicht Rückschlüsse auf bis dato verborgene Zusammenhänge (sog. Hyperparameter) und somit auch Rückkopplungen zur Anpassung der zugrundeliegenden (Überwachungs-)Prozesse. Anhand des Digitalen Zwillings lassen sich Auffälligkeiten am Produkt oder im Prozess rechnerisch prognostizieren, die es gezielt anhand von realen Messdaten zu überprüfen gilt. Eine solche modellgetriebene Messung dynamisiert die Prüfumfänge und eröffnet Spielräume bei der Prüfungsplanung, beispielsweise in punkto der Prüfschärfe (= Frequenz der Stichproben).

\* Quelle: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/digitaler-zwilling-54371>

# Was brauche ich für meine Smart Factory?

## Schlüsselfragen für die Wahl des passenden Messsystems

Die Prozessoptimierung mithilfe eines Digitalen Zwillings ist ein Beispiel dafür, dass es sich im Kontext der Smart Factory lohnt, über den Horizont der spezifischen Messaufgabe hinauszudenken.

Wer seine Fertigung mithilfe von Messtechnik fit für die Industrie 4.0 machen möchte, reflektiert in der Konzeptionsphase in der Regel bewusst oder unbewusst bestimmte grundlegende Fragen. Soll eine neue Smart Factory konzipiert werden, helfen diese Fragen dabei, die Auswahl an möglichen Messsystemen einzugrenzen. Wird der Retrofit einer bestehenden Fertigungsanlage angestrebt, so helfen diese Fragen dabei, eine kurze "Inventur" der bestehenden Systeme vorzunehmen und zu ermitteln, wo genau der "Gap" zur Messtechnik 4.0 liegt.

---

### Wie steht es um die Messmittelfähigkeit?



Die Messmittelfähigkeit beschreibt, wie gut sich ein Messmittel zur Messung spezifischer Merkmale eignet. Sie wird durch die Werte  $c_g$  bzw.  $c_{gk}$  ausgedrückt.

---

### Welche Prüfschärfe wird benötigt?



Bei vielen Messaufgaben können Modelle (vgl. Digitaler Zwilling) dabei helfen, den Messaufwand zu verringern.

---

### Wie stabil ist die Messung über lange Zeit?



In einem idealen Messsystem haben die Umgebungsbedingungen sowie der Zeitpunkt der Messungen keinen Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Messergebnisse. Besonders wichtig ist die Frage der Messstabilität für Inline-Messungen, denn in der Fertigung variieren die Umgebungsbedingungen stark.

---

---

### Wie steht es um den Return on Invest (ROI) des Messsystems?

- ✓ Entscheidend ist hier nicht nur der Anschaffungspreis, sondern auch der erwartete Wartungsaufwand, die Verfügbarkeit von Updates sowie der angebotene Support. Viele Hersteller gehen inzwischen dazu über, schlüsselfertige "Rundum-Sorglos-Pakete" aus Hardware, Software und Service anzubieten. Dies wiederum wirft die Frage nach einer passenden Form des Datenaustauschs mit dem Dienstleister unter Cybersecurity-Gesichtspunkten voraus.
- 

### Inwiefern lässt sich das Messsystem individuell konfigurieren/kalibrieren?

- ✓ Die Skalierbarkeit eines Messsystems eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten und ist ein wichtiger Faktor für seine langfristige Rentabilität.
- 

### Wie schnell kann das Messsystem rückführbare und wiederholgenaue Ergebnisse liefern?

- ✓ Auch Umrüst- und Wartungszeiten wirken sich auf die Schnelligkeit eines Messsystems aus.
- 

### Wie intelligent ist das Messsystem?

- ✓ Einschätzen lässt sich die Intelligenz eines Messsystems anhand seiner Funktionen zur Steuerung, Selbstüberwachung, Diagnose und Kommunikation.
- 

### Wie kommunikativ ist das Messsystem?

- ✓ Welche Kommunikationsprotokolle kommen für die Datenübertragung zum Einsatz? Welche Schnittstellen stehen zur Verfügung und in welchem Format liegen die Messdaten vor?
-

---

## Welche Qualifikationen werden zur Konfiguration und Bedienung des Messsystems benötigt?

- ✓ Angesichts der Fachkräftemangels sichert die einfache, intuitive Bedienbarkeit eines Messsystems eine durchgängig hohe Produktionsauslastung und entscheidet somit auch mit über die Zukunftsfähigkeit des Messsystems.

---

## Ist eine Bedienung, Wartung und Instandhaltung aus der Ferne möglich?

- ✓ Für die Effizienz des Prozesses ist entscheidend, ob der Bediener zwingend physisch vor Ort sein muss oder ob eine Fernsteuerung/Fernwartung möglich ist – vielleicht sogar via Smartphone.

---

## Wie steht es um die Cybersecurity?

- ✓ Je vernetzter das Messsystem, je mehr Daten übertragen werden, desto dringlicher wird die Frage nach der Cybersicherheit, denn es gilt sicherzustellen, dass nur die gewünschten Parteien Zugriff auf die Messdaten bekommen. Insbesondere in der Zusammenarbeit mit Dienstleistern ist außerdem zu klären, wem die Messdaten schlussendlich gehören.

---

## Was genau will ich mit den Daten?

- ✓ Bei den gewonnenen Messwerten lohnt es sich, weiter zu denken, ob neben dem primären Zweck nicht auch eine weitere Verwertung sinnvoll ist. Durch die kombinierte Auswertung mehrere Parameter im Kontext lassen sich etwa Rückschlüsse für die Optimierung des Prozesses ziehen.

---

## Welches Messverfahren (optisch/taktil) eignet sich für meine Messaufgabe?

- ✓ Für komplexere Anwendungen bietet sich häufig eine Kombination beider Messverfahren an.

# Optische vs. taktile Messtechnik in der Industrie 4.0

Unter den Messverfahren sind in modernen Fertigungen die optische sowie die taktile Messtechnik besonders häufig vertreten. Je nach Applikation, lohnt sich ein Blick auf die Vorzüge und Nachteile beider Messverfahren.



## Optische Messtechnik

In der optischen Messtechnik lässt sich der von Prof. Schmitt skizzierte Trend zu virtuellen Modellen organisch fortschreiben, da bei den meisten optischen Messprozessen dank der großen möglichen Dichte an Messpunkten bereits heute sehr große Datenmengen erzeugt und visualisiert werden.

Zum anderen werden bei vielen Applikationen der optischen Messtechnik die Messdaten anhand von Modellen in den Kontext des Messobjekts gesetzt; der "Medienbruch" in Richtung Digitaler Zwilling ist somit geringer. Dies ist beispielsweise auch einer der Gründe für die aktuelle Beliebtheit der Computertomographie (CT), da hierbei eine sehr große Zahl an Messwerten generiert wird. Aber auch ohne diesen Zusatzschritt sind die erzeugten Visualisierungen der Messdaten in den meisten

Fällen relativ intuitiv verständlich, wenn es sich beispielsweise um Fehlerbilder handelt. Dies erleichtert wiederum die Bedienbarkeit eines solchen Messsystems.

Von Nachteil ist, dass sich die erzeugten Messdaten im Unterschied zur taktilen Messtechnik schwieriger auf ein Standardnormal rückführen lassen; die Messunsicherheiten sind in der Regel daher größer. Die große erzeugte Datenmenge, die verarbeitet werden muss, stellt zudem hohe Anforderungen an die Rechenleistung – insbesondere, wenn Echtzeit-Datenverarbeitung gewünscht wird. An ihre Grenzen stößt die optische Messtechnik bisher noch bei anspruchsvollen Oberflächen, wenn Glanz, Reflexionen etc. ins Spiel kommen – auf dem Markt gibt es inzwischen jedoch einige Bildverarbeitungslösungen, die dies softwareseitig kompensieren können.

## Taktile Messtechnik

Aufgrund der Rückführbarkeit der Parameter auf DIN-Normen sowie ihrer hohen Messgenauigkeit und Auflösung stellt die taktile Messtechnik laut Prof. Robert Schmitt für viele Applikationen nach wie vor den "Goldstandard" dar. Taktile Messverfahren gelten als die genauesten am Markt. Ein weiterer Vorteil ist, dass für taktile Messverfahren auch schwierige optische Eigenschaften wie Glanz kein Problem darstellen. Nicht zuletzt sei erwähnt, dass für Standard-Messaufgaben taktile Messsysteme kostengünstiger in der Anschaffung sein können als beispielsweise faseroptische Sensoren.

Die Herausforderung im Hinblick auf Industrie 4.0 besteht speziell bei der taktilen Messtechnik darin, die isolierten Messdaten in den Kontext des Gesamtprodukts zu setzen und die Lücke zum Modell zu schließen.

Nicht zuletzt ist die taktile Messtechnik im Vergleich zur optischen aufgrund des benötigten mechanischen Kontakts zum Prüfobjekt wesentlich zeitaufwändiger. Dieser mechanische Kontakt kann außerdem besonders empfindliche Prüfobjekte (z. B. Linsen) beschädigen, was Nacharbeiten im nächsten Arbeitsschritt erforderlich macht.

## Fazit:

# Prozesse ganzheitlich denken

Auch wenn sich die grundlegenden Trends und Anforderungen der Industrie 4.0 auf sämtliche Fertigungsszenarien auswirken: Eine Patentlösung für die Messtechnik im Sinne von "one size fits alle" kann es nicht geben, da je nach Schwerpunkt der Fertigung und den zu messenden Parametern unterschiedliche Ansprüche an die eingesetzte Messtechnik gestellt werden. Grundsätzlich liegt aber jedem einem zukunftsfähigen Messtechnik-Konzept die zentrale Frage zugrunde: "Welche Sensoren muss ich wo einsetzen, um nicht nur möglichst viele und möglichst zuverlässige, sondern vor allem die richtigen Daten/Informationen über mein individuelles Produkt/meinen individuellen Prozess zu bekommen?"

Wer das richtige Messverfahren und das richtige Messsystem aussuchen möchte, muss daher mit dem Prozess per Du sein. Denn in der Industrie 4.0 ist das Messen (oder besser gesagt, die Datengenerierung) kein isolierter Arbeitsschritt, sondern zieht sich wie ein roter Faden durch den gesamten Prozess.



## Ausblick: Wohin entwickelt sich Messtechnik 4.0?

Doch wohin geht die Reise der Industrie 4.0? Zunächst einmal geht es darum, dort endgültig anzukommen, denn wie Prof. Robert Schmitt zu bedenken gibt: "Das Versprechen der Industrie 4.0 wurde noch nicht ganz eingelöst." Grundsätzlich ist aber davon auszugehen, dass sich der Trend, der bereits heute in der Fertigung zu beobachten sind, in den nächsten Jahren fortsetzen wird: die schnelle Produktion von kleineren Losgrößen bis hin zur Losgröße 1 bei einer hohen Variabilität der Produkte.

Insbesondere die Einführung von 5G wird nach Einschätzung von Prof. Schmitt die Digitalisierung beflügeln, denn 5G ermöglicht die Übertragung größerer Datenmengen in Echtzeit und ebnet somit immer komplexeren Big-Data-Applikationen den Weg. Für den sicheren, verschlüsselten Austausch von Messdaten, beispielsweise zwischen Unternehmen und Hersteller/Dienstleister sowie die Anbindung der Messsysteme an weitere Elemente könnte die Blockchain mit ihren Smart-Contracting-Funktionen ein gangbarer Weg sein.

Speziell ist der Messtechnik zeichnet sich zum einen ab, dass immer mehr vernetzte Multisensor-Systeme entstehen. Zum anderen werden neben den eingangs skizzierten Funktionalitäten auch zunehmend Elemente des maschinellen Lernens (Machine Learning) in die Messsysteme integriert. Vorreiter des letzteren Trends ist aktuell die Bildverarbeitung. Allerdings stellt sich wie bei jeder Form von selbstlernenden Systemen auch hier die Frage nach einer zuverlässigen Überwachung und Kontrolle.

Auf der Meta-Ebene wird, so die Prognose von Prof. Robert Schmitt, das zunehmende Domänenwissen die Produktion verändern. Beim Know-how-Transfer geht der Trend zu einer unternehmens- und branchenübergreifenden, interdisziplinären Kooperation. Somit verändert sich die Rolle der Hersteller als solche weg von Alleineignern eines "Hoheitswissens" hin zu Partnern auf Augenhöhe.

Impressum:

Herausgeber:

ACCRETECH (Europe) GmbH

Landsberger Straße 396

81421 München

Tel: +49 (0)89 546788-0

[info@accretech.eu](mailto:info@accretech.eu)

Ansprechpartner:

Philipp Dörr

Autorin: Regina Levenshtein, Journalistin

Gestaltung: ag visuelle Kommunikation, Anja Gerscher

Alle Rechte liegen beim Herausgeber. Ein Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit ausdrücklicher schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.



# ACCRETECH (Europe) GmbH

Landsbergerstr. 396

81241 Munich, Germany

Phone: +49 89 546788-0

Mail: [info@accretech.eu](mailto:info@accretech.eu)

[www.accretech.eu](http://www.accretech.eu)