SINOPES

Stärkung interregionaler Netzwerke zur Optimierung der Produktionseffizienz durch Sensorik

www.sinopes.eu

Handbuch

Unterstützung zur Anwendung oder Einführung von Inline-Sensorik in der Produktion

Interreg Bayern-Österreich

Kofinanziert von der Europäischen Union

SINOPES
Stärkung interregionaler Netzwerke zur Optimierung
der Produktionseffizienz durch Sensorik
www.sinopes.eu

Inhalt

Gebrauchsanweisung 4
- Wozu dieses Handbuch? ... 4
- Für wen ist das Handbuch gedacht? ... 4
- Was ist die Zielsetzung? ... 4

Was ist Inline-Sensorik? 5
- Was verstehen wir unter Inline-Sensorik? ... 5
- Was ist der Nutzen von Inline-Sensorik? ... 5
- Fachwissen benötigt? ... 5
- Sensorik-Technologien ... 6
- Fachbegriffe – Glossar ... 12

Orientierung & Hilfestellung 18
- Selbständige Recherche ... 18
- Persönliche und lokale Unterstützung ... 18
- Kontakte zu den regionalen Projektpartnern ... 19
- SINOPES-Angebote ... 20
- Förderprogramme im Programmgebiet ... 21

Best-Practice-Beispiele 22
- Automatisierte Prozessüberwachung in der chemischen Industrie ... 22
- Inline-Überwachung beim WAAM 3D-Druck komplexer Metallteile ... 23
- Restfeuchtemessung bei Lebensmitteln / Backwaren ... 24
- Reduktion von Ausschuss in der Produktion durch Inline-Sensorik verknüpft mit KI-Modellen ... 25
- 3D-Inlinecomputertomographie in der Automobil-Industrie ... 26

SINOPES 27

Anhang 31
- Überblick über Sensorik-Verfahren ... 31
- Quellenverzeichnis des Glossars ... 34

Gebrauchsanweisung

Wozu dieses Handbuch?

Dieses Handbuch soll vor allem kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) einen einfachen und raschen, kostengünstigen und unkomplizierten Einstieg in die Anwendung von Inline-Sensorik in der Produktion ermöglichen.

Dadurch wollen wir es allen Unternehmen so leicht wie möglich machen, die Effizienz und Produktivität ihrer Fertigungsprozesse zu steigern und somit erfolgreicher und gleichzeitig „grüner" zu werden.

Für wen ist das Handbuch gedacht?

- Unternehmen insbesondere KMU, Gründer und Geschäftsführer, Prozess- und Technologieverantwortliche in der Produktion, Qualitätssicherung, Prozessoptimierung sowie Nachhaltigkeits- und Innovationsmanager
- Intermediäre (z.B. Wirtschaftsagenturen, Unternehmensberater)

Für genau Sie und Euch haben wir dieses Handbuch erstellt!

Was ist die Zielsetzung?

Wir wollen vor allem über folgende Ansätze Hilfestellung bieten:

Wissen und Information

- Einstieg in das Thema „Inline-Sensorik"
- Was ist das und was kann das?
- Erläuterung von Technologien und Fachbegriffen

Orientierung und Hilfestellung

- Welche Anbieter und Dienstleister gibt es? Welche Förderungen?
- Wer kann mir wie und wo weiterhelfen?
- Ansprechpartner und Kontakte

Inspiration

- Anwendungsbeispiele aus der Praxis

Was ist Inline-Sensorik?

Was verstehen wir unter Inline-Sensorik?

Inline-Sensorik fokussiert auf den Einsatz von Sensoren in automatisierten Produktions- oder Fertigungsprozessen. Direkt in die Produktionslinie oder den Fertigungsbereich integrierte Sensoren erfassen in Echtzeit Produktkennwerte (wie Füllstand oder Geometrien), Umgebungsparameter (wie Temperatur, Druck, Feuchtigkeit), aber auch Qualitätsparameter (wie Schädigungen, Risse, Delaminationen, chemische Eigenschaften) und Prozessparameter (wie Geschwindigkeit, Vibrationen, Durchfluss und Mischungsverhältnisse etc.).

Was ist der Nutzen von Inline-Sensorik?

Inline-Sensorik liefert somit unmittelbar eine Information über den Zustand eines Produkts und eines Prozesses. Die intelligente Nutzung all dieser Messdaten erlaubt die Optimierung der Produktqualität, reduziert Ausschussraten und Produktionskosten und senkt den Bedarf an Rohstoffen und Energieeinsatz. Trends und Abweichungen lassen sich frühzeitig erkennen, um beispielsweise Ausfallzeiten zu minimieren oder die Wartung von Maschinen oder Prozessen zu optimieren.

Inline-Sensorik unterstützt somit alle Bemühungen für die Einführung und das stabile Aufrechterhalten effizienter Fertigungsprozesse für qualitativ hochwertige Produkte.

Fachwissen benötigt?

Nein. Sie müssen kein Experte und keine Expertin für Inline-Sensorik sein oder werden. Es gibt genügend Forschungseinrichtungen und Anbieter von Sensoriklösungen, die in ihren Fachbereichen herausragende Expertise bereitstellen. Sprechen Sie mit diesen Leuten, lassen Sie sich beraten und zu guten Lösungen hinführen.

Das wesentliche Fachwissen, das Sie in diese Gespräche mitbringen müssen (und das nur Sie selbst mitbringen können), ist das Wissen über Ihre eigenen Fertigungsprozesse und Produkte, über Ihre Anforderungen und Herausforderungen, über Ihre Möglichkeiten und Einschränkungen!

In diesem Handbuch möchten wir Ihnen den Weg zu Beratungsgesprächen mit Fachleuten dadurch erleichtern, dass wir Ihnen Kontakte für den Beginn Ihrer Suche nach den richtigen Ansprechpartnern zur Verfügung stellen und Ihnen einen ersten groben Überblick über Technologien und Fachbegriffe bieten.

Wie wir Sie bei der Suche nach den idealen Ansprechpartnern und nach Ihrer perfekten Lösung unterstützen können finden Sie im Kapitel „Orientierung & Hilfestellung“.

Sensorik-Technologien

Unter den Überbegriff „Sensorik" fallen eine Unzahl von Technologien und Lösungen.

Eine eindeutige Zuordnung, welche Sensorik-Technologien auch „inline-fähig" sind, lässt sich nicht hundertprozentig treffen. Manche Technologien, die man nicht sofort als „Inline-Sensorik" bezeichnet hätte, lassen sich durch ein schlaues Umsetzungskonzept und oft auch durch intelligente Automatisierung doch in eine Inline-Lösung verwandeln.

Die nachfolgenden Aufzählungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sollen nur einen ersten Überblick und Einstieg bieten.

Sensorik-Technologien lassen sich nach verschiedenen Kriterien gliedern, wodurch die unüberschaubare Anzahl schon übersichtlicher wird.

Ein erster Ansatz zur Gliederung ist der **Einsatzzweck**:

- Technologien zur Bauteil- bzw. Produkt-Überwachung / Qualitätssicherung
- Technologien zur Anlagen- bzw. Prozessüberwachung
- Hilfstechnologien zur Vernetzung von Sensoren und zur Verarbeitung von Sensordaten

Die zugrundeliegenden **physikalischen Prinzipien** bieten einen weiteren Gliederungsansatz (hier eine exemplarische Auswahl):

- Ultraschall-Messtechnik
- Röntgen-Technologien
- Optische Verfahren
- Magnetische / elektromagnetische Verfahren
- Chemische Analytik
- Schwingungsmessung
- Akustische Messtechnik
- Wärmeleitung, Wärmestrahlung
- Neigungs- / Lagesensorik
- Elektrochemische Messverfahren

Schließlich gibt es in jeder Technologie noch eine Vielzahl von Spezialisierungen und Besonderheiten, die ähnliche Lösungen voneinander unterscheiden.

Eine Auswahl der bekanntesten und relevantesten Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP-Verfahren):

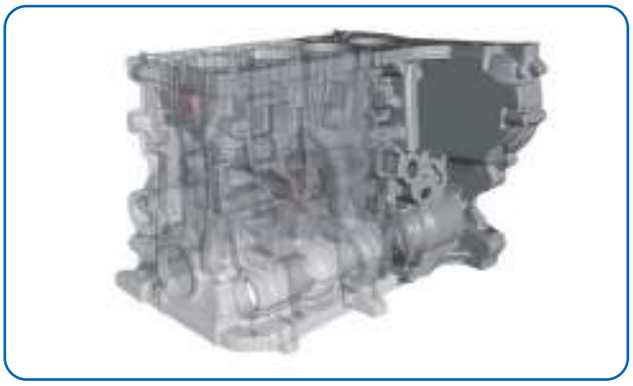
Ultraschall

© sakarin14 | stock.adobe.com

Die Ultraschallprüfung ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Untersuchung von Materialfehlern und wird in vielen Industrien zur Qualitätssicherung und Instandhaltung eingesetzt. Dabei werden Ultraschallwellen, die typischerweise durch Piezoelemente erzeugt werden, in das Material gesendet. Die Wellen werden an Grenzflächen und Fehlern reflektiert und die zurückkommenden Echos werden analysiert, um Materialfehler zu identifizieren. Piezoelektrische Wandler wandeln elektrische Signale in mechanische Schwingungen und umgekehrt.

Eine weitere Methode ist der Laser-Ultraschall, bei dem Laserimpulse genutzt werden, um Ultraschallwellen zu erzeugen. Diese Wellen werden ebenfalls durch das Material geschickt und die Reflexionen mit einem optischen Sensor erfasst. Beide Methoden ermöglichen die Erkennung von Rissen, Poren und anderen Unregelmäßigkeiten im Material. Untersucht werden vor allem feste, harte Materialien wie z.B. Metalle oder Carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK).

Röntgen



© Fraunhofer IIS/EZRT

Die industrielle Röntgenprüfung ist ein ZfP-Verfahren, mit dem das Innere von Prüfteilen auf Fehler und Unregelmäßigkeiten untersucht werden kann. Röntgenstrahlen durchdringen dabei das Prüfobjekt und werden je nach Material und Dichte unterschiedlich stark abgeschwächt. Ein Detektor erfasst die abgeschwächte Strahlung für weiterführende Analysen von Inhomogenitäten, Poren, Einschlüssen sowie Fehlstellen aber auch für dimensionale Messtechnik. Die Technik kann für beinahe alle Materialien angewendet werden.

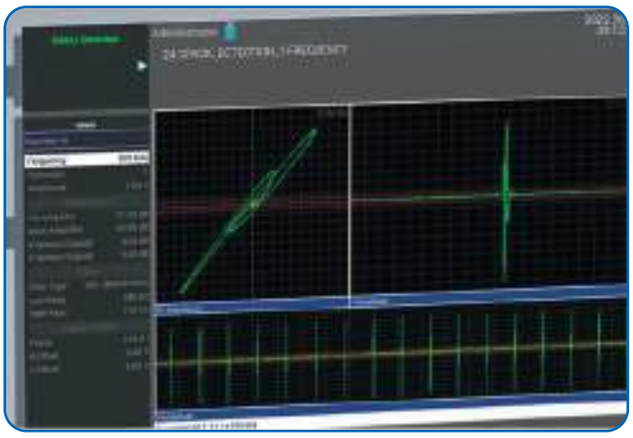
Optische Verfahren

© Upper Austrian Research GmbH

Diese Verfahren gliedern sich in aktive optische Verfahren und klassische bildgebende/kamera-basierte Verfahren.
Aktive optische Sensoren verfügen über einen Sender, der elektromagnetische Strahlung im sichtbaren oder unsichtbaren Bereich (Ultraviolett, Infrarot) aussendet. Ein Detektor registriert dann die rückgestreute bzw. vom Prüfling abgegebene Strahlung. Nach mathematischer Verarbeitung dieser Signale stehen die gewünschten Bild- oder Messparameter zur Verfügung.

Beispiele für Technologien und deren Anwendungsfelder sind die Infrarot- und Raman-Spektroskopie für Inline-Prozesskontrolle und Qualitätssicherung (z. B. für die Analyse chemischer Verbindungen), Terahertz-Technologie für zerstörungsfreie Materialcharakterisierung (Bildgebung und Spektroskopie) von nicht leitfähigen Materialien, Optische Kohärenztomographie (OCT) für zerstörungsfreie Prüfung innerer Strukturen von Kunststoffen, Keramik etc. sowie die aktive Thermographie.
Klassische bildgebende/kamerabasierte Verfahren arbeiten in verschiedenen Wellenlängenbereichen.
Eine spezielle Stellung nehmen Verfahren ein, bei denen durch Projektion eines definierten Musters und anschließende Bilderfassung eine besonders gezielte Vermessung von Oberflächeneigenschaften ermöglicht wird.

Magnetische / elektromagnetische Verfahren


© Rohmann GmbH

Bei der elektromagnetischen Prüfung wird ein elektrischer Strom bzw. ein Magnetfeld durch ein elektrisch leitendes Teil geleitet. Es gibt drei Arten der elektromagnetischen Prüfung: Wirbelstromprüfung, Wechselstromfeldmessung und Fernfeldprüfung. Es werden Magnetfelder erzeugt, diese werden durch innere Fehlstellen in den zu prüfenden Teilen oder auch abhängig von Parametern wie Schichtdicken beeinflusst. Diese Rückwirkungen können detektiert und zur Messung verwendet werden.

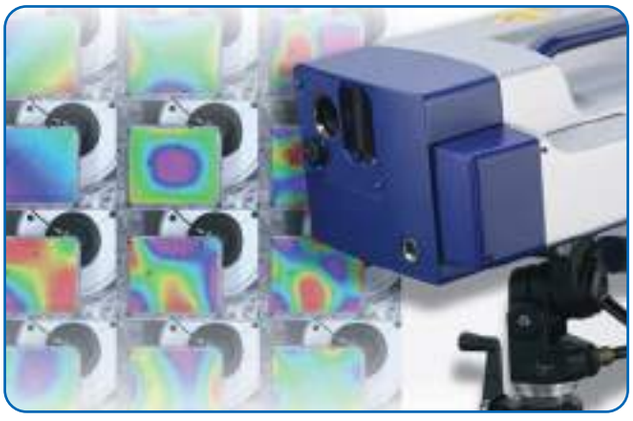
Chemische Analytik

© LebensmittelCluster OOE

Die chemische Analytik im Rahmen der zerstörungsfreien Prüfung nutzt Methoden wie Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF) und Infrarot (IR)-Spektroskopie oder Raman-Spektroskopie, um die chemische Zusammensetzung von Materialien zu bestimmen, ohne sie dabei zu verändern. Das bedeutet auch, dass eben keine Probenvorbereitung (wie für labor-chemische Methoden) notwendig ist.
Bei der XRF wird das Material mit Röntgenstrahlen bestrahlt, wodurch charakteristische Sekundärstrahlen emittiert werden, die Aufschluss über die Elementzusammensetzung geben.

Die IR-Spektroskopie misst die Absorption von Infrarotlicht, das Molekülvibrationen anregt, und ermöglicht so die Identifikation von chemischen Bindungen und Stoffen im Material. Diese Techniken ermöglichen präzise Analysen, sowohl qualitativ (welche Stoffe sind enthalten?) als auch quantitativ (in welchen Mengen?). Die Anwendungsfelder sind vielfältig – darunter Medizin (z.B. Bluttests), Umweltwissenschaft (z.B. Wasserqualität) und natürlich chemische Industrie, Lebensmittelindustrie, pharmazeutische Industrie.

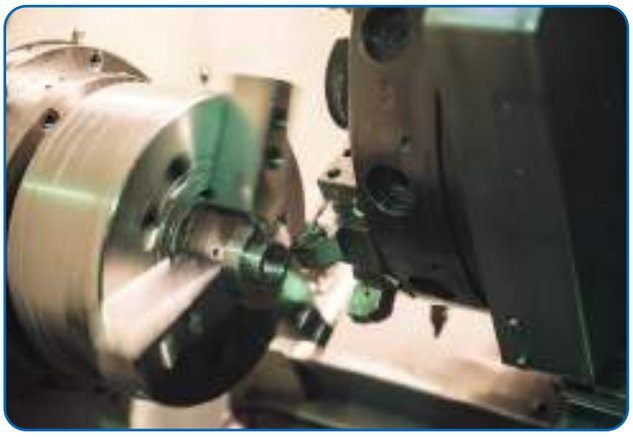
Schwingungsmessung


© AMITRONICS Angewandte Mikromechatronik GmbH

Die Schwingungsmessung basiert auf der Analyse der Schwingungen, die durch mechanische Anregungen im Material erzeugt werden. Sensoren, wie Beschleunigungsmesser oder Laservibrometer, erfassen diese Schwingungen und messen ihre Frequenz, Amplitude und Dämpfung. Durch die Analyse dieser Schwingungsparameter können Rückschlüsse auf Materialfehler, wie Risse oder Delaminationen, gezogen werden, da solche Defekte das Schwingungsverhalten verändern. Diese Methode ermöglicht die Überprüfung der Materialintegrität ohne Beschädigung des Bauteils.

Eine Ausprägung derartiger Techniken ist die Ultraschallsensorik (s. oben), bei viel geringeren Frequenzen (tlw. im hörbaren Frequenzspektrum) sind die Anwendungsfälle eher im Kontext von Zustandsüberwachung („Predictive Maintenance“) zu sehen, wo das frühzeitige Erkennen von Veränderungen Hinweise auf Komponentenermüdung, mangelnde Schmierung, Verschleiß etc. geben kann.

Akustische Messtechnik



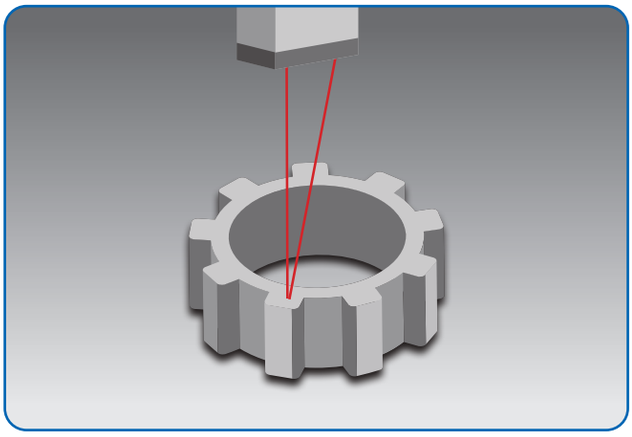
Die Akustische Messtechnik befasst sich mit der Messung und Analyse von Schallwellen in verschiedenen Frequenzbereichen. Sie umfasst den Hörschall (20 Hz bis 20 kHz), der für das menschliche Gehör wahrnehmbar ist, sowie den Infraschall (unter 20 Hz) und den Ultraschall (s. oben; über 20 kHz). Besonders hohe Frequenzen im Ultraschallbereich können bis zu mehreren GHz reichen. Akustische Messtechnik wird eingesetzt zur Untersuchung von Schallquellen, -ausbreitung und -absorption.
Techniken wie Mikrofonarrays und Laser-Doppler-Vibrometer ermöglichen präzise Messungen in verschiedenen Anwendungen, von der Bauakustik bis hin zur medizinischen Diagnostik und industriellen Qualitätskontrolle. Die Analyse umfasst sowohl die zeitliche als auch die frequenzbasierte Auswertung der Schallsignale.

Wärmeleitung, Wärmestrahlung

© voidsy gmbh

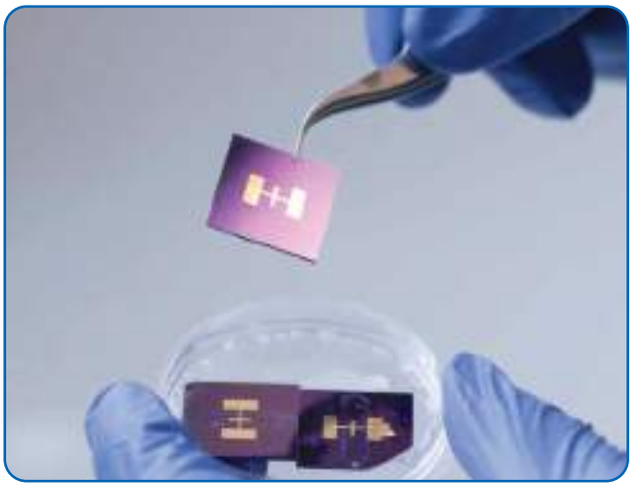
Die zerstörungsfreie Prüfung durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung, auch Thermografie genannt, basiert auf der Erfassung und Analyse von Temperaturverteilungen auf der Oberfläche eines Materials. Bei der aktiven Thermografie wird das Prüfobjekt durch eine externe Wärmequelle (z.B. Infrarotblitzlampe) erhitzt, und eine Infrarotkamera erfasst die resultierenden Wärmebilder. Diese Bilder zeigen Temperaturunterschiede, die auf Materialunregelmäßigkeiten wie Risse oder Delaminationen hinweisen, da solche Defekte die Wärmeleitfähigkeit verändern und somit Temperaturanomalien verursachen. Die Thermografie ermöglicht so eine schnelle und großflächige Untersuchung von Materialien ohne deren Zerstörung. Sie kann für die unterschiedlichsten Materialien eingesetzt werden, die erzielbaren Ergebnisse sind immer von den Wärmeleiteigenschaften abhängig.

Neigungs- / Lagesensorik



Die Neigungs- und Lagesensorik für zerstörungsfreie Prüfung basiert auf verschiedenen Technologien wie Gyroskopen, Beschleunigungsmessern und Magnetometern, die die Lage und Ausrichtung eines Objekts relativ zum Erdmagnetfeld erfassen. Diese Sensoren erfassen winzige Veränderungen in der Neigung und Position eines Objekts und ermöglichen so die Überwachung von Strukturen wie Brücken, Gebäuden oder Pipelines auf Verformungen oder Bewegungen, ohne dass physische Inspektionen erforderlich sind. Die Daten werden oft in Echtzeit analysiert und können dazu beitragen, potenzielle Risiken frühzeitig zu erkennen und präventive Maßnahmen zu ergreifen, um Unfälle oder Schäden zu vermeiden.

Elektrochemische Messprinzipien



© CEST Kompetenzzentrum für elektrochemische Oberflächentechnologie GmbH

Elektrochemische Messprinzipien/-verfahren sind Techniken, die die elektrischen Eigenschaften chemischer Substanzen nutzen, um ihre Konzentration oder Reaktivität zu bestimmen. Üblicherweise wird dafür ein Sensor eingesetzt, welcher der zu messenden Substanz als chemischer Reaktionspartner dient. Die gängigen Methoden sind die Potentiometrie, die die Spannung misst, die von einer chemischen Reaktion erzeugt wird, und die Amperometrie, die den Stromfluss bei einer elektrochemischen Reaktion erfasst. Diese Verfahren sind in vielen Bereichen nützlich, von der Umweltüberwachung bis zur medizinischen Diagnostik, da sie empfindlich, genau und oft schnell durchführbar sind.

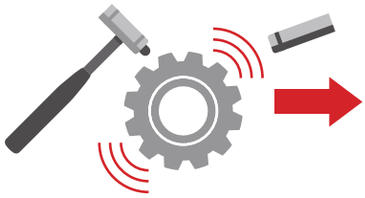
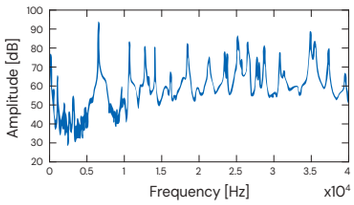
Einen exemplarischen Überblick über die vielfältigen Ausprägungen unterschiedlicher Sensorik-Verfahren finden Sie im Anhang.

Fachbegriffe – Glossar

Wer sich neu mit dem Themenfeld (Inline-)Sensorik befasst wird schnell mit vielen Fachbegriffen konfrontiert. Mit dem folgenden Glossar wollen wir eine übersichtliche Hilfe bieten, um manche Begriffe rasch zu verstehen – und sie auch gleich im richtigen Kontext gut einordnen zu können.

Dieses Glossar erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Online-Fassung finden Sie auf unserer Website www.sinopes.eu, die auch ständig aktualisiert und erweitert wird.

Anm.: Die Ziffern ganz rechts beziehen sich auf das Quellenverzeichnis, das Sie ab Seite 34 am Ende des Buchs finden. Einträge, bei denen keine Quellenangabe steht, wurden frei von den Autoren verfasst.

AFM Atomic Force Microscopy Atomkraftmikroskopie	Hochauflösende Rasterkraftmikroskopie-Technik, die die Oberflächenstruktur von Materialien auf atomarer Ebene durch die Messung der Wechselwirkungskräfte zwischen einer mikroskopischen Spitze und der Probenoberfläche erfasst.	1
AFM-IR Atomic Force Microscope-Infrared Spektroscopy Rasterkraftmikroskopie-Infrarotspektroskopie	Spektroskopische Technologie zur ortsaufgelösten, chemischen Analyse von Materialien bzw. deren Oberflächen im Nanometer-Maßstab. Sie kombiniert die Rasterkraftmikroskopie mit der Infrarotspektroskopie (IR).	2
ARS Acoustic Resonance Spectroscopy Akustische Resonanzspektroskopie	Standard ZfP-Verfahren. Nutzung von Schallwellen zur Identifizierung von Materialeigenschaften oder Strukturen durch die Analyse der von einem Sensor erfassten akustischen Resonanzmuster.  	3
AT Acoustic Emission Testing Schallemissionsprüfung	Standard ZfP-Verfahren. Analyse von akustischen Signalen, die von einem zu prüfenden Objekt abgestrahlt werden, um Informationen über den Zustand oder die Veränderung eines Systems zu erfassen.	4
atline / at-line / at line	Positionierung oder Einsatz von Sensoren oder Messgeräten in unmittelbarer Nähe zu einem Produktionsprozess oder einer Fertigungslinie, ohne jedoch integraler Bestandteil dieser Linie zu sein. © Sandoz GmbH, 6250 Kundl	5

Auflösung	Beschreibt die Fähigkeit eines Sensors, kleine Unterschiede oder Details in den gemessenen Daten zu erfassen	6
Batch-Prozess	Produktions-/Fertigungsmethode, bei der in (zeitlich, räumlich) klar abgegrenzten Einheiten (Batches) produziert wird. Beispielsweise in der chemischen Industrie, indem ein Reaktor befüllt wird und nach Abschluss des Prozesses das umgewandelte Produkt entnommen werden kann.	7
Charge	Eine Gruppe von Sensoren oder Sensorgeräten, die gleichzeitig hergestellt oder kalibriert wurden und daher ähnliche Eigenschaften und Leistung aufweisen.	
Charge	Eine Produktionseinheit (auch "Los" oder englisch "lot") in einer diskontinuierlichen Produktion (Batch-Prozess oder Stückgutfertigung), bei der von einheitlicher Qualität auszugehen ist.	
CIP Cleaning in Place Ortsgebundene Reinigung	Automatisierte Reinigungsmethode für Produktionsanlagen, bei der komplette Anlagen (Anlagenteile) ohne Demontage oder manuelle Reinigung in situ gereinigt werden, um die Hygiene und Zuverlässigkeit in sensiblen Prozessanwendungen zu gewährleisten.	8
CT Computertomografie	Standard ZfP-Verfahren. Bildgebendes Verfahren, das mithilfe von Röntgenstrahlen oder anderen ionisierenden Strahlen detaillierte Querschnittsbilder der Messobjekte erzeugt, indem es Sensoren verwendet, um die Intensität der durch das Objekt hindurchgegangenen Strahlen zu messen und daraus dreidimensionale Bilder zu rekonstruieren.	9
DGZfP Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung	Plattform für das Thema ZfP in Deutschland. Ziel ist die Erforschung, Entwicklung, Anwendung und Verbreitung der zerstörungsfreien Prüfverfahren.	10
Echtzeit / Echtzeitfähigkeit	Fähigkeit eines Systems, Daten nahezu "sofort" bzw. jedenfalls mit klar definierter Verzögerung bzw. Reaktionszeit zu erfassen, zu übertragen, bereitzustellen.	11
ET Eddy Current Testing Wirbelstromprüfung	Standard ZfP-Verfahren. Nicht-invasive Prüftechnik, die Wirbelströme zur Detektion von Rissbildung, Materialdichte und elektrischen Eigenschaften in Metallen nutzt. © Rohmann GmbH	12
FDA Food and Drug Administration	Regulatorische Aufsicht der US-amerikanischen Gesundheitsbehörde, die Standards für die Sicherheit und Qualität von Lebensmitteln und medizinischen Produkten vorgibt und im Zuge von Audits auch deren Einhaltung überprüft.	13
Feldbus	Kommunikationsprotokoll oder -system für die Kommunikation zwischen Komponenten der industriellen Automatisierung (Sensoren, Aktoren, Steuerungen), welches es Sensoren ermöglicht, Daten effizient und zuverlässig an Steuerungssysteme oder andere Geräte in einem industriellen Umfeld zu übertragen.	14
Gaia-X	Europäische Dateninfrastrukturinitiative, die es ermöglicht, Daten (z.B. auch Sensordaten) sicher und effizient zu erfassen, zu speichern und zu teilen.	15
Geisterschicht	Produktionsschicht (bzw. beliebig definiertes Zeitintervall), in der die Produktionsanlagen in z.B. einer Fertigungshalle ohne menschliche Betreuung oder Aufsicht durchlaufen. Stellt besonders hohe Anforderungen an Robotik und Automatisierungstechnik, aber auch an die überwachende Sensorik.	16

Genauigkeit	Beschreibt die Präzision der gemessenen Werte eines Sensors im Vergleich zu den tatsächlichen realen Werten. In der Messtechnik und Qualitätssicherung ist Genauigkeit (englisch: accuracy) ein Oberbegriff. In EN 60051 wird die Genauigkeit eines Messgerätes definiert als „Grad der Übereinstimmung zwischen angezeigtem und richtigem Wert“.	17
GMP Good Manufacturing Practice Gute Herstellungspraxis	Regelwerk zur Einhaltung von Qualitätsstandards und Vorschriften bei der Herstellung von insbes. Lebensmitteln, Pharmazeutika und Medizinprodukten, das eine konstante hohe Qualität der Prozesse und deren Nachverfolgbarkeit sicherstellen soll. Vielschichtiges Konzept mit u.a. Auswirkungen auf die Anforderungen an eingesetzte Sensorik.	18
Golden Batch	Ideale Mischung oder Probencharge eines Produkts, die als Maßstab für Qualität und sensorische Eigenschaften dient und als Referenz für zukünftige Produktionen verwendet wird.	-
HACCP Hazard Analysis and Critical Control Points Gefahrenanalyse und kritische Kontrollpunkte	Systematisches Verfahren zur Identifizierung, Bewertung und Kontrolle von potenziellen Gefahren und kritischen Kontrollpunkten in Prozessen, beispielsweise in der Produktion von Lebensmitteln oder Pharmazieprodukten.	19
HSI Hyperspectral Imaging Hyperspektrale Bildgebung	Bildgebungs- und Sensortechnik, bei der für jeden Bildpunkt Informationen über das reflektierte Licht in vielen schmalen, aufeinanderfolgenden spektralen Bändern (oder auch voll spektral) erfasst werden, um detaillierte und spektrale Informationen über die Materialeigenschaften des Objekts zu gewinnen.	20
ICH International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use	Bei den ICH-Richtlinien handelt es sich um international anerkannte Leitlinien, die Standards und Empfehlungen für die Entwicklung, Zulassung und Qualitätskontrolle von Arzneimitteln festlegen. https://www.ich.org/	21
induktiv	Induktive Sensoren sind berührungslose Sensoren (typischerweise Näherungssensoren), die metallische Objekte erkennen, indem sie elektromagnetische Induktion verwenden.	22
inline / in-line / in line	Direkte Integration von Sensoren in den Produktionsprozess oder die Überwachung eines Systems, ohne dass Proben oder Daten aus der laufenden Produktion entnommen werden müssen.	23
IR Infrared Radiation Infrarot-Strahlung	Bereich des elektromagnetischen Spektrums, der Wärmestrahlung und unsichtbare Infrarotstrahlen erfasst und zur Messung von Temperatur, Bewegung und anderen physikalischen Eigenschaften verwendet wird. Wird insbesondere auch für diverse Varianten der Infrarot-Spektroskopie eingesetzt, um chemische Kennwerte zu bestimmen. Infrarot-Feuchtigkeitsmessung	24
Kalibrierung	Prozess, bei dem ein Sensor oder Messgerät so eingestellt wird, dass es genaue und zuverlässige Messungen gemäß einem festgelegten Referenzstandard oder einer bekannten Skala liefert. Dieser Vorgang stellt sicher, dass die Sensorwerte genau den tatsächlichen physikalischen Größen entsprechen, die gemessen werden sollen.	25
kapazitiv	Kapazitive Sensoren sind berührungsfreie Sensorgeräte, die Veränderungen in der elektrischen Kapazität zwischen zwei Elektroden detektieren, um beispielsweise Näherung, Füllstand, Schichtdicken oder Materialeigenschaften in verschiedenen Anwendungen zu messen.	26

Konti-Prozess (oder: Conti-Prozess)	Produktions-/Fertigungsmethode, bei der über längere Zeiträume ohne Unterbrechung (typischerweise 24/7) laufend produziert wird. Ein typisches Beispiel ist eine Raffinerie, aber es gibt auch in sehr kleinen Maßstäben, z.B. in der Mikrofluidik, Conti-Prozesse.	27
LT Leak Testing Lecksuche/Dichtheits¬prüfung	Standard ZfP-Verfahren. Prozess der Verwendung von Sensoren und ggf. Prüfgasen zur Identifizierung von undichten Stellen oder Lecks in einem System oder einer Komponente.	28
LUS Laser-Ultrasonics Laser-Ultraschall	Ein berührungsloses Verfahren zur Durchführung von Ultraschall-Materialuntersuchungen. Dabei wird eine Ultraschallwelle im Material durch das Auftreffen eines Laserpulses erzeugt und die Welle (nach Durchtritt durch das zu untersuchende Material) auch wieder berührungslos durch ein Laservibrometer detektiert. Neben der Berührungslosigkeit sind die besonders hohe Ultraschallfrequenz und die hohe Bandbreite der angeregten Frequenzen sehr nützliche Alleinstellungsmerkmale dieser Messtechnik. 	29
MIR Mid Infrared Mittleres Infrarot	Elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen ca. 3 und 5 Mikrometern, die von speziellen Sensoren erfasst wird und zur Temperaturmessung, Gasanalyse und Spektroskopie verwendet wird.	30
MPI Magnetic Particle Inspection Magnetpulverprüfung	Standard ZfP-Verfahren. Prüftechnik, bei der ferromagnetische Materialien mittels elektromagnetischer Felder und feiner Eisenpartikel (als Pulver oder in einer Suspension aufgebracht) geprüft werden. An Fehlstellen (Rissen, oberflächennahen Unregelmäßigkeiten) sammeln sich die Partikel an und können optisch (üblicherweise unterstützt durch fluoreszierende Farbpigmente) detektiert werden.	31
MTBF Mean Time Between Failures	Durchschnittliche Zeitdauer zwischen Ausfällen oder Störungen an Produktionsanlagen, Anlagenteilen, technischen Einrichtungen oder auch Sensorikgeräten, die deren Zuverlässigkeit und Langlebigkeit bewertet.	32
NDT Non-Destructive Testing	Deutsch: Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP). Die Prüfung von Bauteilen bzw. Produkten auf mögliche (innere) Fehler zum Zweck der Qualitätssicherung	33
NIR Near Infrared Nahes Infrarot	Bereich elektromagnetischer Strahlung mit Wellenlängen zwischen ca. 700 und 2500 Nanometern, der in der Sensorik verwendet wird, um Materialeigenschaften und chemische Zusammensetzungen von Substanzen zu analysieren, da verschiedene Materialien Licht in diesem Bereich unterschiedlich absorbieren und reflektieren.	34
OCT Optical Coherence Tomography Optische Kohärenztomografie	Eine bildgebende Sensortechnologie, um innere Strukturen in Materialien abzubilden bzw. darzustellen, die für das verwendete Infrarot-Licht zumindest teilweise durchlässig sind.	35
offline / off-line / off line	Daten oder Informationen von Sensoren werden nicht in Echtzeit erfasst oder verarbeitet, sondern stattdessen zu einem späteren Zeitpunkt analysiert oder ausgewertet.	36
ÖGfZP Österreichische Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung	Plattform für das Thema ZfP in Österreich, insbesondere für Ausbildung und Qualifikation bzw. Zulassungen zuständig.	37
OM Optische Messtechnik	Standard ZfP-Verfahren. Anwendung von optischen Sensoren und Techniken zur präzisen Erfassung und Analyse von physikalischen Eigenschaften und Geometrien von Objekten.	38

online / on-line /on line	Echtzeitmessung und -überwachung von Daten oder Informationen. Dies bedeutet, dass die Sensoren kontinuierlich Daten erfassen und diese Informationen sofort verarbeiten oder übertragen, um aktuelle oder zeitnahe Einblicke in den gemessenen Prozess oder Zustand zu liefern.	39
OPC-UA Open Platform Communications - Unified Architecture	Industriestandard (entwickelt von der OPC Foundation) für die Kommunikation und den Datenaustausch zwischen industriellen Geräten (u.a. auch Sensoren), der eine interoperable und sichere Vernetzung in der Industrieautomatisierung ermöglicht.	40
OPTIR mIRage	Fortschrittliches Sensorsystem zur ortsaufgelösten chemischen Analyse von Materialien bzw. deren Oberflächen im Nanometer-Maßstab, wobei mehrere Messprinzipien (IR- und Raman-Hyperspektrale Bildgebung) gekoppelt zur Anwendung kommen.	-
PAT Process-Analytical Technologies Prozessanalytische Technologien	Ein Überbegriff über Sensortechnologien, die prozessintegriert eingesetzt werden und primär das Ziel haben, in Echtzeit Daten aus dem Prozess und zur Prozesssteuerung und Prozessoptimierung zu liefern.	41
Process Robustness (ICH Q8)	Die Prozessrobustheit im Kontext der Sensorik gemäß ICH Q8 bezieht sich auf die Fähigkeit eines Prozesses, konsistente und zuverlässige sensorische Messungen unabhängig von variablen Einflüssen oder Störungen zu liefern.	42
PT Penetrant Testing Eindringprüfung	Sensorikverfahren, das verwendet wird, um die Härte eines Materials durch das Eindringvermögen eines standardisierten Prüfkörpers zu messen.	43
Raman Spectroscopy Raman-Spektroskopie	Spektroskopische Untersuchung, die ermöglicht, die chemische Zusammensetzung von Substanzen durch die Analyse der Raman-Streuung von Laserlicht zu identifizieren und zu charakterisieren.	44
Raw Material Variability	Bezieht sich auf die natürlichen Schwankungen und Unterschiede in den sensorisch wahrnehmbaren Eigenschaften von Rohstoffen, die Einfluss auf die Qualität von Produkten oder auf die Performance von Prozessen haben können. Durch die Messung dieser Schwankungen kann es gelingen, die Prozessführung im laufenden Betrieb dynamisch so anzupassen, dass diese Schwankungen über den Herstellprozess ausgeglichen werden und somit trotzdem eine gleichmäßige Produktqualität erzielt wird.	-
RT Radiographic Testing Durchstrahlungsprüfung	Standard ZfP-Verfahren. Nicht-invasives Verfahren in der Sensorik, bei dem Röntgenstrahlen verwendet werden, um die innere Struktur eines Objekts oder Sensors sichtbar zu machen und eventuelle Defekte oder Unregelmäßigkeiten zu identifizieren.	45
Sampling	Prozess der Erfassung und Aufzeichnung von Daten oder Signalen zu diskreten Zeitpunkten oder in regelmäßigen Abständen, um Informationen über ein physisches oder analoges Phänomen in digitaler Form zu erhalten.	46
Sampling	Probennahme. Im Gegensatz zu Inline-Messungen werden einzelne Proben ("Stichproben") aus einem Fertigungsprozess entnommen und einer Analyse (Atline-Messgerät, Labor etc.) zugeführt. Die Entnahme der Proben kann manuell oder automatisiert erfolgen.	47
Sensitivitätsanalyse	Untersuchung, wie empfindlich ein Sensor auf Veränderungen in der Umgebung oder bei den gemessenen Parametern reagiert, um seine Genauigkeit, Robustheit und Leistung zu bewerten.	-
Spektroskopie	Analytische Methode zur Identifizierung und Quantifizierung von Substanzen durch die Untersuchung ihres Lichtabsorptions- oder Emissionsverhaltens über verschiedene Wellenlängenbereiche. Typisch im UV- (ultravioletten), sichtbaren oder IR- (Infrarot-) Bereich des Spektrums angewendet.	48

THz- / Terahertz-Strahlung	Bereich elektromagnetischer Strahlung im Terahertz-Frequenzbereich, der zwischen Mikrowellen- und Infrarotstrahlung liegt (auch als Fernes Infrarot / Far Infrared bezeichnet) und zur Detektion von Materialeigenschaften und chemischer Analyse, aber auch zur Bildgebung innerer Strukturen in nichtleitenden Materialien und zur Tomographie genutzt wird.	49
Tomografie	Bildgebende Technik, bei der Informationen über die räumliche Verteilung von Materie oder Eigenschaften in einem Objekt durch die Messung von Signalen oder Wechselwirkungen an verschiedenen Punkten des Objekts erfasst werden. Typischerweise geschieht das durch eine Bildgebung aus verschiedenen Raumwinkeln und anschließende Verrechnung aller Bilder zur Rekonstruktion eines 3D-Datensatzes.	50
TT Thermographic Testing Thermografie	Standard ZfP-Verfahren. Nutzung von Temperatursensoren zur Erfassung und Visualisierung von Wärmebildern oder Temperaturverteilungen oder auch der Wärmeleitung in einem Objekt © voidsy gmbh	51
UT Ultrasonic testing Ultraschallprüfung	Standard ZfP-Verfahren. Technologie, bei der hochfrequente Schallwellen ausgesendet und die Laufzeit ihrer Reflexionen gemessen wird, um Abstände oder Eigenschaften von Objekten zu erfassen oder Fehlstellen im Inneren (unerwartete Reflexionen) zu detektieren.	52
VT Visual Testing Sichtprüfung	Standard ZfP-Verfahren. Visuelle Inspektion, bei der mithilfe menschlicher Beobachtung und visueller Reize die Funktionsfähigkeit und Qualität von Sensoren überprüft wird. © Mtayfunseker | Dreamstime.com	53
WEK Wareneingangskontrolle	Prozessschritt der Überprüfung angelieferter Güter (Rohstoffe, Komponenten), wobei u.a. deren Übereinstimmung mit den geforderten Spezifikationen überprüft wird.	54
Yield	Ausbeute. Prozentsatz oder die Menge der fehlerfreien (verkaufsfähigen) Produkte bzw. Produktmenge im Verhältnis zur gesamten Produktionsmenge. (In der Beschreibung chemischer Reaktionen noch enger gefasst ...).	-
X-Ray Röntgen	Bildgebende Sensoriktechnologie, die ionisierende Strahlung verwendet, um durch Objekte oder den Körper zu sehen und detaillierte innere Strukturen sichtbar zu machen.	55
ZfP Zerstörungsfreie Prüfung	Englisch: Non-Destructive Testing (NDT). Die Prüfung von Bauteilen bzw. Produkten auf mögliche (innere) Fehler zum Zweck der Qualitätssicherung	56

SINOPES-Tipp: Unser Glossar auf www.sinopes.eu wird laufend ergänzt und erweitert ...

Orientierung & Hilfestellung

Sie sind der Meinung, der Einsatz von Inline-Sensorik könnte für Ihr Unternehmen und Ihren Fertigungsprozess nützlich sein?

Hier geben wir Ihnen Tipps für die ersten Schritte!

Selbständige Recherche

Wahrscheinlich sind alle Informationen, Angebote und Möglichkeiten im Internet verfügbar – man müsste sie nur finden können.

Damit Ihnen eine erste selbständige Recherche leichter gelingt können Sie sich im vorigen Kapitel einen Überblick über Technologien und über diverse Fachbegriffe verschaffen.

Überlegen Sie, wonach Sie eigentlich konkret suchen. Was ist die Problemstellung? Benötigen Sie ein Messgerät oder eine komplexe Automatisierungslösung? Suchen Sie ein Standardprodukt oder brauchen Sie eine hochspezialisierte Sonderlösung? Wollen Sie ein Produkt oder eine Dienstleistung kaufen? Brauchen Sie ein Beratungsunternehmen, einen Händler oder Forscher:innen?

Persönliche und lokale Unterstützung

Wir lassen Sie nicht allein.

Kontaktieren Sie die Partner im bayerisch-österreichischen Sensorik-Netzwerk SINOPES! Wir sind gerne für Sie da und diskutieren völlig unverbindlich Ihre Anliegen, Ideen und Überlegungen mit Ihnen.

In vielen Fällen können wir Ihnen unmittelbar Lösungen oder Unterstützung durch Partner im Netzwerk anbieten, in anderen Fällen können wir Ihnen mit konkreten weiterführenden Kontakten helfen oder Sie bei der Recherche unterstützen.

Kontakte zu den regionalen Projektpartnern

Business Upper Austria
Wirtschaftsagentur des Landes OÖ

Iris Reingruber
+43 664 8520907
iris.reingruber@biz-up.at
www.biz-up.at

RECENDT
Research Center for
Non-Destructive Testing GmbH

Robert Holzer
+43 732 2468 4602
+43 664 9658927
robert.holzer@recendt.at
www.recendt.at

Strategische Partnerschaft Sensorik e.V.
Strategische Partnerschaft Sensorik

Florian Czieslok
+49 941 630 916 25
f.czieslok@sensorik-bayern.de
www.sensorik-bayern.de

Fraunhofer EZRT
Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Entwicklungszentrum Röntgentechnik des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS (EZRT)

Christoph Heinzl
+49 851 509 4475
christoph.heinzl@iis.fraunhofer.de
www.iis.fraunhofer.de

FORWISS
Universität Passau,
Institut für Softwaresysteme in technischen Anwendungen der Informatik

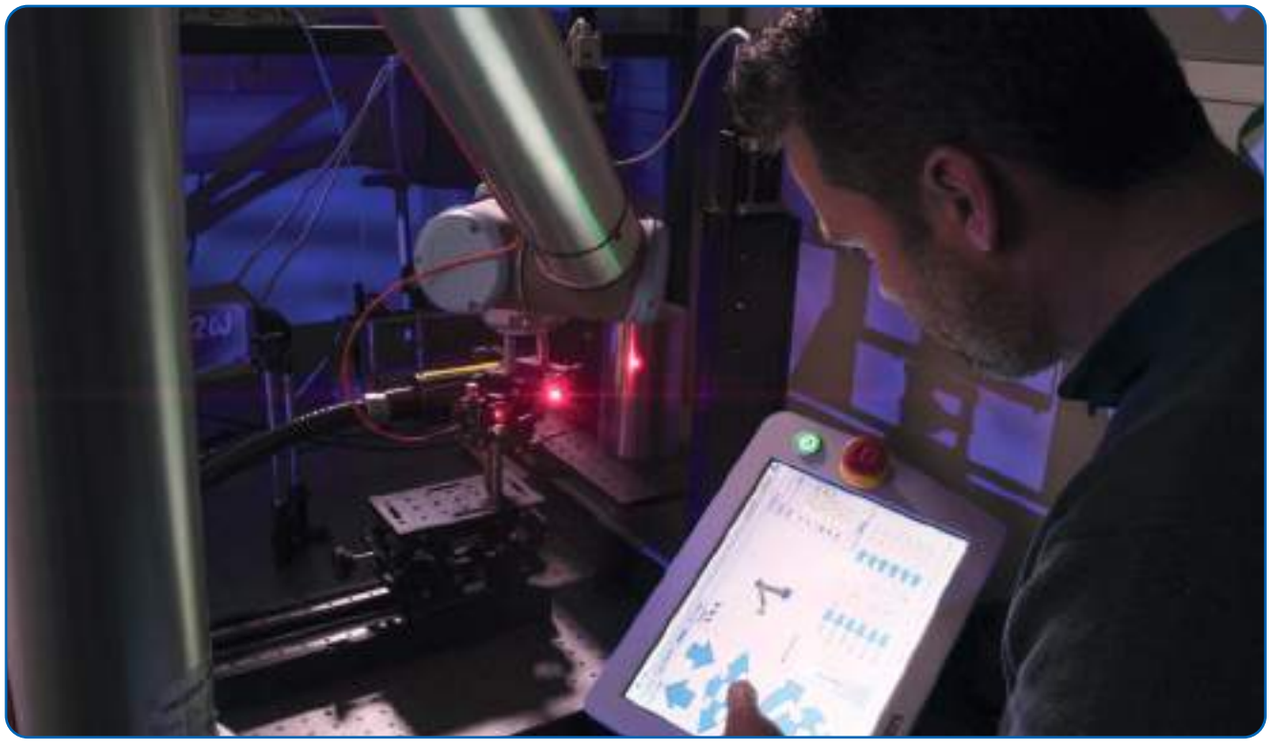
Michael Niedermeier
+49 851 509 3157
niedermeier@forwiss.uni-passau.de
www.forwiss.uni-passau.de

SINOPES-Angebote

Ergänzend zu der Möglichkeit, Ihre Ansprechpartner persönlich zu kontaktieren, bietet Ihnen das SINOPES-Netzwerk auch noch folgende Services:

- Anbieterdatenbank / Marktüberblick:
  Hier finden Sie Akteure, Anbieter und Experten, welche bewährte Lösungen und neue technologische Ansätze im Bereich Inline-Sensorik und Prozessüberwachung im bayerisch-österreichischen Grenzraum anbieten (online und als gedruckte Broschüre erhältlich)
- Coaching- und Trainingsangebote
- Netzwerkveranstaltungen
- Best-Practice-Beispiele (vgl. auch nachfolgendes Kapitel)

Für diese Angebote dürfen wir Sie auf unsere Website www.sinopes.eu verweisen, da diese Angebote dort jederzeit aktuell zur Verfügung stehen.



SINOPES-Tipp: Auf unserer Website finden Sie aktuelle Informationen zu unseren Serviceangeboten!

Förderprogramme im Programmgebiet

Es gibt zahlreiche Förderprogramme für KMU in vielen unterschiedlichen Varianten, sie sind teilweise nur zeitlich beschränkt verfügbar bzw. unterliegen laufend Änderungen.
Daher möchten wir nachstehend die Kontakte zu den Beratungsstellen im Programmgebiet anführen. Sie helfen Ihnen dabei, die für Sie und Ihr Projekt richtigen Innovations- und Investitionsförderungen zu finden.

Österreich

- Oberösterreich:
  Business Upper Austria
  OÖ Wirtschaftsagentur GmbH
  https://www.biz-up.at/service/innovationen-foerdern-schuetzen
  Fördertelefon: +43 732 79810-5420

- Salzburg:
  Innovation Salzburg GmbH
  Servicecenter Innovation
  +43 5 7599 722 0
  info@innovation-salzburg.at

- Tirol:
  Standortagentur Tirol GmbH
  Förderberatung & EU-Programme
  +43 512 576262
  foerderberatung@standort-tirol.at

- Vorarlberg:
  Förderberatung – WISTO
  „WIRTSCHAFTS-STANDORT VORARLBERG“
  BETRIEBSANSIEDLUNGS GMBH
  +43 5572 55252
  wisto@wisto.at

Bayern

- Strategische Partnerschaft Sensorik e.V.
  +49 941 6309160
  info@sensorik-bayern.de

- Projektträger Bayern bei der Bayern Innovativ GmbH
  +49 800-0268724
  kontakt@projekttraeger-bayern.de

- IHK Regensburg für Oberpfalz / Kelheim
  +49 941 5694-299
  Michael Vogel
  vogel@regensburg.ihk.de

LfA Förderbank Bayern
+49 89 21240
info@lfa.de

Österreich – landesweit

- AWS - Austria Wirtschaftsservice
  https://www.aws.at/, AWS Fördermanager
  https://foerdermanager.aws.at/#/
  +43 1 501 75-100
  24h-auskunft@aws.at

- FFG - Die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
  https://www.ffg.at/
  Förderservice: +43 5 7755-0
  foerderservice@ffg.at
  Förderpilot:in www.foerderpilotin.at

- KPC - Kommunalkredit Public Consulting GmbH
  Klima- und Umweltschutzförderungen des Bundes
  https://www.umweltfoerderung.at/

SINOPES-Tipp: Auf unserer Website finden Sie aktuelle Informationen zu unseren Serviceangeboten!

Best-Practice-Beispiele

Auf den folgenden Seiten zeigen wir Ihnen Beispiele aus der Praxis, wie Unternehmen unterschiedlicher Größe und Branchen verschiedenste technologische Sensorik-Lösungen einsetzen. Gemeinsam ist all diesen Beispielen, dass sie die erfolgreiche Umsetzung und den Nutzen von Inline-Sensorik-Projekten eindrucksvoll belegen.

Im Idealfall lösen diese Beispiele bei Ihnen neue Ideen und Überlegungen aus, führen zu der Frage: „Könnte das bei mir auch so ähnlich funktionieren?"

Wenn Sie diese Frage weiterverfolgen möchten, stehen wir Ihnen gerne für eine individuelle Beratung zur Seite!

Automatisierte Prozessüberwachung in der chemischen Industrie

Durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes imPACts zum Themenbereich Prozessanalytik, FFG 843546

Problem:
Während chemischer Produktionsprozesse ist die Entnahme einer Vielzahl von Proben notwendig. Bei KremsChem/Metadynea in Niederösterreich wurden bisher zur Bestimmung des optimalen Abstellzeitpunktes eines Prozesses während jeder Charge bis zu neun Trübungspunktmessungen durchgeführt.

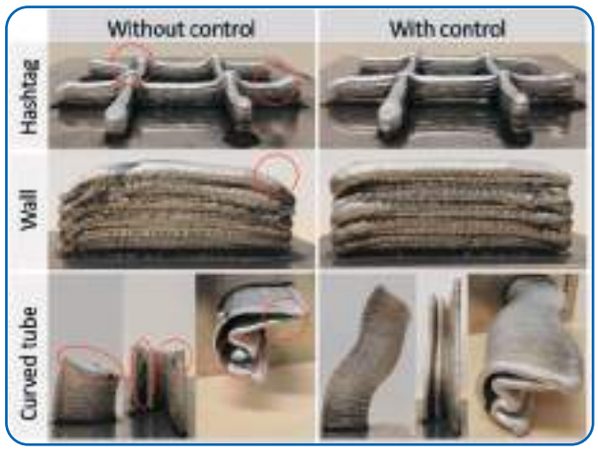
Motivation:
Ziel war es, valide chemische Informationen in Echtzeit direkt aus den Prozessströmen zu gewinnen. Diese Informationen sollen neue Optimierungspotentiale für chemische Prozesse in verschiedenen Branchen eröffnen.

Lösung & Nutzen:
In der Produktionsanlage wurde ein NIR-Spektrometer mittels Faseroptik mit drei Reaktoren verbunden, in die Messsonden eingebaut wurden. Die Spektren werden während der Kondensation der Melamin-Formaldehyd-Harze (MF) und Phenol-Formaldehyd-Harze (PF) kontinuierlich alle paar Sekunden aufgezeichnet, ohne dafür eine Probe aus dem Reaktor entnehmen zu müssen. Parallel zu den spektralen Daten werden zusätzlich über andere Sensoren relevante Parameter wie Prozesstemperatur und -druck erfasst. Die chemometrischen Modelle, die mit zuvor aufgenommenen Daten kalibriert wurden, analysieren die Spektren und liefern als Ergebnis die gewünschten Prozessparameter.

Es wurde eine voll automatisierte Methode entwickelt, die eine Reaktionsüberwachung und Bestimmung des gewünschten Reaktionsendpunktes bei der Herstellung von Melamin-Formaldehyd-Harzen für dekorative Oberflächen und Phenol-Formaldehyd-Harzen für Mineralwolle ermöglicht. Der Analyseaufwand konnte nun durch Inline-Monitoring mittels Nahinfrarot-Spektroskopie gänzlich ersetzt werden. Der Abstellpunkt wird automatisch durch die chemometrische Analyse der Infrarotspektren gefunden. Damit werden die Mitarbeiter für andere Tätigkeiten freigespielt.

Die manuellen Probennahmen konnten um fast 90 Prozent reduziert werden, die Mitarbeiter:innen sind frei für andere Tätigkeiten mit höherer Wertschöpfung.

Inline-Überwachung beim WAAM 3D-Druck komplexer Metallteile



Durchgeführt im Rahmen des Projekts VALIDAD (Validierung additiver Fertigungstechniken für die Anwendung in der Metallverarbeitung)
Förderträger: BayVFP Förderlinie Digitalisierung / FuE–Programm „Informationstechnik und Kommunikationstechnik“ des Freistaates Bayern IUK-1905-0013

Problem:
WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) ist ein Verfahren, das ermöglicht, große Metallteile im 3D-Druck herzustellen. WAAM orientiert sich dabei am Lichtbogenschweißen, wobei das Metall in Pulver- oder Drahtform geschmolzen und dann Schicht für Schicht aufgetragen wird. Häufig verwendete Metalle sind Stahl, Aluminium und Titan. Entscheidend für die Qualität des gedruckten Teils ist ein gleichmäßiger Abstand des Schweißkopfs zur Schweißraupe. Bei abrupten Richtungswechseln oder sich überlagernden Kanten kann es aber zu „Schweißwulsten“ kommen, wodurch ein konstanter Abstand nicht mehr gegeben ist. Dies führt zu Überhitzungen oder geometrischen Ungleichheiten, wodurch das gefertigte Teil unbrauchbar wird.

Motivation:
Klassische Metallverarbeitungstechniken, wie das Fräsen, haben einen hohen Materialverlust und sind dadurch oftmals kostenintensiv, aber auch zeitintensiv. WAAM ist sowohl kosten- als auch zeitgünstiger als diese Techniken. Jedoch sollen auch geometrisch aufwändigere Teile herstellbar sein, ohne dass das zuvor beschriebene Problem auftritt. Dazu sind weitere Schritte nötig, um die Qualität des gedruckten Teils zu sichern.

Lösung:
Um die Wulstbildung zu verhindern wird der Roboterarm des 3D-Druckers mit einer Schweißkamera versehen, die den Druckprozess überwacht. Die Schweißkamera ist auf den Punkt der Materialauftragung gerichtet und überwacht den Abstand des Schweißkopfs sowie die Position des Schweißdrahts. Dazu werden klassische Bildverarbeitungstechniken verwendet, um deren Positionen zu bestimmen. Anhand dessen können die Parameter des 3D-Druckers automatisch mit einem CLC (Closed Loop Control)-System entsprechend dem Feedback der Kamera angepasst werden. Dies kann beispielsweise eine Anpassung der Geschwindigkeit und des Abstands der Düse oder der Durchflussmenge des Metalls umfassen, wodurch eine gleichmäßige Schweißnaht entsteht. Durch die Inline-Überwachung können somit Teile mit komplexer Geometrie gedruckt werden. Zudem können durch die eingesetzten Bildverarbeitungsmethoden Spratzer[1] identifiziert werden, die beim Schweißprozess auftreten. Diese können auf Prozessinstabilitäten hinweisen. Mit der Kamera kann man Spratzer als kleine, helle Flecken erkennen, die sich vorübergehend um die Bearbeitungsstelle verteilen. Ebenfalls kann durch eine Überwachung der horizontalen Position des Schweißdrahts die Abnutzung des Kontaktrohrs festgestellt werden. Falls es hier zu einer Abweichung kommt, liegt der Schweißdraht nicht mehr perfekt in der Führung, wodurch vermehrt Ablagerungsdefekte auftreten können. Das Kontaktrohr muss bei zu starker Abweichung ausgetauscht werden.

[1] Kleine Reste vom Metall, die beim Schweißen von der Schweißstelle wegspritzen können

Restfeuchtemessung bei Lebensmitteln / Backwaren

Durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes EDDY – Enhanced Drying (Initiative „Vorzeigeregion Energie“ des Österreichischen Klima- und Energiefonds) zum Themenbereich Prozessanalytik, FFG 880778

Problem:
Trocknung und Dehydrierung gehören zu den energieintensivsten und meistverbreiteten Prozessen in der Industrie. Heute werden in der Industrie nach wie vor hauptsächlich gravimetrische Feuchtemessungen eingesetzt, die (da für die Messung eine Probe entnommen werden muss) nur sporadisch Messwerte liefern können und daher für eine Echtzeit-Prozesskontrolle gänzlich ungeeignet sind. Herkömmliche Feuchtesensoren (z.B. Hygrometer, Psychrometer) können nur die Luftfeuchtigkeit und nicht das zu trocknende Produkt messen.

Motivation:
Die Messung der Feuchte von Produkten und Rohmaterialien hat große Bedeutung in zahlreichen Industriezweigen wie zum Beispiel in der Holz-, Papier-, Nahrungsmittel- sowie der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Ein Grund dafür sind strenge Auflagen bezüglich des Wassergehaltes, die erfüllt werden müssen, um eine hohe Reinheit und Qualität der hergestellten Produkte zu gewährleisten. Speziell bei der Lebensmittelherstellung führt eine zu hohe Produktfeuchte zu einer verkürzten Haltbarkeit, welche eine erhöhte Wegwerfrate von Lebensmitteln zur Folge hat. Des Weiteren werden viele Produkte nach deren Gewicht gehandelt, wodurch ein zu hoher oder zu niedriger Feuchtegehalt auch maßgebliche ökonomische Folgen haben kann.

Lösung:
Mittels Infrarot-Spektroskopie wird die Feuchtigkeit des Produkts selbst erfasst. Es wurde ein innovativer, kompakter und kostengünstiger optischer Infrarotsensor entwickelt, der robust, zuverlässig und langzeitstabil ist. Er wird in Trocknungsprozessen bei AGRANA Stärke GmbH und Fischer Brot GmbH eingesetzt.

Nutzen:
- Inline-Überwachung der Produktfeuchtigkeit in Trocknungsprozessen mit neuartiger, kompakter und kostengünstiger optischer IR-Sensortechnologie, die eine Echtzeit-Steuerung ermöglicht
- Optimierte Betriebsstrategien auf der Basis von numerischen Modellen und Monitoringdaten (Steigerung der Produktivität, Reduzierung der CO_2-Emissionen und Betriebskosten, Sicherstellung einer hohen Produktqualität unabhängig von externen Einflüssen), Gestaltung von Maßnahmen zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz und der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen (z.B. Wärmepumpen)
- Der industrielle Energiebedarf kann durch Nutzung von Infrarot-Sensorik für die Trocknung und Dehydrierung um ca. 60% reduziert werden.

Reduktion von Ausschuss in der Produktion durch Inline-Sensorik verknüpft mit KI-Modellen

Das Projekt INTEUM, gefördert durch das Bayerische Verbundforschungsprogramm (BayVFP) mit über 900.000 Euro, zielt darauf ab, durch den Einsatz von KI-Technologien und präziser Inline-Sensorik die Effizienz in der Produktion bei Stanzwerkzeugen zu erhöhen. Im Fokus steht die Entwicklung eines intelligenten, echtzeit- und transferfähigen Messsystems auf Basis von Acoustic Emission, das durch Produktionsplanungs- und Maschinenüberwachungsdaten (Condition Monitoring) gespeist wird. Projektträger: VDI/VDE-IT (DIE-2108-0006//DIE0156/01)

Problem:
Ein zentraler Teil des Produktionsprozesses bei Scherdel ist das Werkzeug, welches erheblichen Einfluss auf die Produktqualität und Stillstandzeiten der Maschine aufgrund von Wartung und Werkzeugwechsel hat. Wie lange mit einem Werkzeug produziert werden kann, ist dabei abhängig vom Hersteller und wie das Werkzeug aufgearbeitet wurde. Diese Risiken wurden bisher anhand von starren Wartungsfenstern und Maßverläufen der Produkte abgeschätzt und gemanagt.

Motivation:
Durch eine kontinuierliche und autarke Überwachung der Werkzeuge und der Produktqualität lassen sich Anomalien, der Verschleiß und auftretende Schadensverläufe von einzelnen Werkzeugen in Echtzeit erkennen und zurückverfolgen. Auf Basis der erhobenen Daten lassen sich relevante Prozessparameter sowie Qualitätsmetriken anpassen.

Nutzen:

- Optimiertes Nutzen von Werkzeugen und Vermeidung von Werkzeugbrüchen
- Vorausschauende Planung der Werkzeugwartung
- Reduktion von Produktionsausschuss und Stillstandzeiten
- Optimierung der Prozesssicherheit und -qualität
- Effiziente Fehlerbehebung in Echtzeit
- Minimierung von Energieverbrauch und Betriebskosten

© Scherdel GmbH/ AMITRONICS Angewandte Mikromechatronik GmbH

Lösung:
Die Forschungsgruppe Cyber-Physical Systems des iisys (Hochschule Hof) entwickelte KI-Modelle zur Überwachung des Maschinenzustands und zur Predictive Maintenance. AMITRONICS stellte Hochleistungssensoren bereit, die die Schallemissionen der Anlagen registrieren. Zusätzlich durch die Verwendung von MQTT als Datenaustauschstandard wurden die Daten in Echtzeit weiterverarbeitet und Anomalien durch integrierte, intelligente Auswertemethoden identifiziert.

Scherdel stellte Anlagen, das dazugehörige Prozess-Know-How, Planungsdaten und ihre Ilot-Infrastruktur zur Verfügung, um die Identifikation und Behebung von Prozessrisiken zu optimieren. Neue Erkenntnisse zeigen, dass insbesondere Hochgeschwindigkeitsstanzen von dieser Technologie profitieren können.

Die Sensorik-Bayern GmbH brachte ihre Expertise im Bereich IIoT ein, übernahm die Retrofit-Ausstattung der Maschinen mit Funksensorknoten und entwickelte Konnektivitätsmodule. Diese Sensoren lieferten Informationen zum Gesamtzustand der Anlagen und erkannten Anomalien im Produktionsprozess.

Durch Vibro-Acoustic-Monitoring (VAM) hat Scherdel die Möglichkeit die Werkzeuge optimaler zu nutzen und so entsprechend vorausschauend die Werkzeugwartung zu planen, um Ausschuss oder Werkzeugbrüche zu vermeiden. Die erfolgreiche Implementierung dieser Technologie könnte dazu führen, dass Scherdel sie auf weitere Anlagen ausweitet. Dies würde die Produktqualität erhöhen und den Energieverbrauch sowie die Betriebskosten senken, indem Ausschuss und Produktionsfehler frühzeitig erkannt und behoben werden.

3D-Inlinecomputertomographie in der Automobil-Industrie

Problem:
Ein gängiges Problem in der Automobilindustrie ist die zerstörungsfreie Prüfung von Gusskomponenten, die im Fertigungstakt begutachtet werden müssen. Unser konkretes Beispiel fokussiert daher auf die 3D-Inline-Computertomographie an großen gegossenen Aluminiumbauteilen (z.B. Gehäusen für E-Maschinen), die im Fertigungstakt mit vollautomatischer Auswertung und Klassifikation nach Fehlerklassen in der Gießerei in Landshut bei BMW ausgewertet werden. Zu den Analyseaufgaben zählen neben der Detektion von Poren auch eine Klassifikation nach Pseudo, Lunker, Einschluss sowie weiteren Kriterien. Darüber hinaus ist eine Vermessung von inneren Strukturen bzw. von Restwandstärken an definierten Positionen interessant. Die großen Herausforderungen dieser Problemstellung sind einerseits Artefakte im generierten CT-Volumen auf Grund von hohen Durchstrahlungslängen bei geringer Messzeit und hoher Röntgenenergie, sowie andererseits unterschiedliche Derivate (Bauteilgrößen), die über dieselbe Anlage geprüft werden müssen.

© BigBlueStudio | stock.adobe.com

Motivation:
Für den Endanwender liegt die Motivation in dieser Inlineprüfung darin begründet, dass Ausschuss signifikant reduziert werden kann. Durch die genaue Klassifikation der Fehler können somit fundierte Entscheidungen getroffen werde, ob Nacharbeit möglich ist oder nicht. Bisher ist kein Verfahren bekannt, womit entsprechende innere Strukturen in der Fertigung in 3D und zu 100 % kontrolliert werden können.

Lösung:
Als Lösung wurde unter anderem das Konzept der HeiDetect FX Inline-CT mit 450 kV Quelle und zwei Detektoren realisiert. Besonderer Fokus in der Implementierung dieses Konzepts wurde auf die Reduktion der Nebenzeiten gesetzt, um möglichst viel Zeit für die eigentliche Bildaufnahme zu bekommen. Die Defektauswertung erfolgt über klassische Bildverarbeitung mit Algorithmik des Fraunhofer IIS/EZRT. Auch die Klassifikation übernimmt ein KI-Ansatz von Fraunhofer IIS/EZRT.

SINOPES-Tipp: Auf unserer Website www.sinopes.eu gibt es auch eine Rubrik für Best-Practice-Beispiele – und diese wird laufend ergänzt und erweitert …

SINOPES

Dieses Handbuch wurde im Rahmen des INTERREG Bayern-Österreich Projektes SINOPES erstellt. SINOPES steht für: „Stärkung interregionaler Netzwerke zur Optimierung der Produktionseffizienz durch Sensorik".

Die Projektpartner haben sich das Ziel gesetzt, insbesondere KMU im Grenzraum Österreich – Bayern dabei zu unterstützen, die Effizienz von Produktionsprozessen durch den verstärkten Einsatz von Inline-Sensorik zu verbessern. Dazu wurden in verschiedenen Workshops und Veranstaltungen sowie durch eine Online-Befragung, die im Herbst 2023 durchgeführt wurde, der Status-Quo auf Seiten der Anwender erhoben und andererseits bereits 2023 begonnen, einen möglichst breiten und dennoch einfach zugänglichen Marktüberblick zu Sensorik- und Dienstleistungs- bzw. Forschungsangeboten zu erstellen. Ausgehend von dieser Informationssammlung werden neue Coaching- und Trainingsangebote für Unternehmen entwickelt und angeboten.

Projektpartner sind:

- Business Upper Austria – OÖ Wirtschaftsagentur GmbH, Linz/AT – www.biz-up.at
- RECENDT – Research Center for Non-Destructive Testing GmbH, Linz/AT – www.recendt.at
- Strategische Partnerschaft Sensorik e.V., Regensburg/DE - www.sensorik-bayern.de
- Universität Passau, Institut für Softwaresysteme in technischen Anwendungen der Informatik (FORWISS), Passau/DE - www.forwiss.uni-passau.de
- Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Entwicklungszentrum Röntgentechnik des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS (EZRT) Passau/DE - www.iis.fraunhofer.de

Das Projekt wurde von 2023 bis 2026 aus Mitteln der Europäischen Union im Rahmen des INTERREG VI-A Programms Bayern – Österreich 2021–2027 kofinanziert.

Kontakt:
www.sinopes.eu

SINOPES

Stärkung interregionaler Netzwerke zur Optimierung der Produktionseffizienz durch Sensorik

www.sinopes.eu

SINOPES

business upper austria

MC MECHATRONIK CLUSTER

Linz, Österreich

www.biz-up.at

Kontakt:
Iris Reingruber

+43 664 8520907
iris.reingruber@biz-up.at

- Standortagentur des Landes Oberösterreich
- Portfolio:
  - Policy & Standortstrategie
  - Investoren- & Standortmanagement
  - Human Capital Management
  - Cluster & Kooperationen
  - Forschungs- & Innovationsförderberatung
- Mechatronik-Cluster
  - Branchenübergreifendes Netzwerk für Unternehmen aus Maschinen- und Anlagenbau, Geräte- und Apparatebau, Technologie- und Komponentenzulieferer, Forschungs-, Entwicklungs- und Bildungseinrichtungen
  - Schwerpunkte: Industrial Services, Smart Engineering, Intelligent Production + Digitale Transformation & Nachhaltigkeit

SINOPES

RECENDT
RESEARCH CENTER NON DESTRUCTIVE TESTING

Linz, Österreich

www.recendt.at

Kontakt:
Robert Holzer

+43 732 2468 4602
+43 664 9658927
robert.holzer@recendt.at

- Wir sind spezialisiert auf die Entwicklung von Technologien für:
  → **ZfP**, → berührungslose Materialcharakterisierung und → Prozess-Analytik (**PAT**)
- Wir decken das gesamte Spektrum ab: von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung in der Industrie
- Wir sind Technologieführer bei LUS (Laser-Ultraschall), OCT (Optische Kohärenztomographie) & THz (Terahertz) für industrielle Anwendungen
- Wir leiten die österreichische Forschungsinitiative für Prozessanalytik in der Chemie (PAC)
- Wir unterstützen verschiedenste Industriesegmente: Metall, Kunststoff, Automobil, Luftfahrt, CFK, Kleben, Beschichtungen, Verpackungen, chemische Industrie, Lebensmittel, Pharma ...

SINOPES

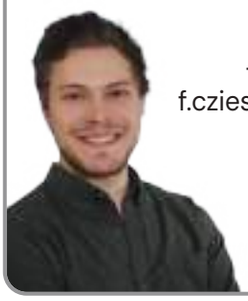
Stärkung interregionaler Netzwerke zur Optimierung der Produktionseffizienz durch Sensorik

www.sinopes.eu

SINOPES

Strategische Partnerschaft Sensorik

Regensburg, Bayern
www.sensorik-bayern.de



Kontakt:
Florian Czieslok

+49 941 630 916 25
f.czieslok@sensorik-bayern.de

Wir sind strategischer Partner der bayerischen Sensorik. Unser Auftrag, wirtschaftsfördernd für die Branche tätig zu sein.

- Standortagentur des Landes Oberösterreich
- Unsere Ziele:
  - gemeinsame Technologieentwicklung
  - Initiierung und Begleitung branchenübergreifender Kooperationen
  - Bereitstellung umfassender unternehmensorientierter Angebote
- Wir sind Katalysator für die regionale Innovationslandschaft:
  - zwei Millionen Euro Jahresumsatz
  - 250 initiierte Innovationsprojekte
  - generiertes Fördervolumen von 60 Millionen
- Unsere Expertise deckt entscheidende Themenfelder für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen ab: Digitalisierung, digitale Transformation, intelligente Sensorik und Messtechnik, elektronische Systeme, resiliente Systeme zum Schutz kritischer Infrastruktur, Safety und Security, Umwelttechnologie, Halbleiter, Automotive

SINOPES

FORWISS Universität Passau

Passau, Bayern
www.forwiss.uni-passau.de

Kontakt:
Michael Niedermeier

+49 851 509 3157
niedermeier@forwiss.uni-passau.de

- Gründung 1988, seit 2005 Institut für Softwaresysteme in technischen Anwendungen der Informatik (FORWISS Passau)
- Schnittstelle von Universität und Wirtschaft
- Umsetzung neuester Entwicklungen für KMU, große Industriekonzerne, Forschungsverbünde und staatliche Projekte
- Arbeitsgebiete:
  - Digitale Bild- und Signalverarbeitung
  - Angewandte Mathematik
  - Additive Fertigung
  - Künstliche Intelligenz / Maschinelles Lernen

SINOPES

Fraunhofer EZRT

Passau, Bayern

www.iis.fraunhofer.de

Kontakt:
Christoph Heinzl

+49 851 509 4475
christoph.heinzl@iis.fraunhofer.de

- Entwicklungszentrum Röntgentechnik Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
- Arbeitsgebiete:
  - Bildverarbeitung und Visualisierung (3D Datenverarbeitung, Methodenentwicklung für große volumetrische Daten unter Einbeziehung von Vorwissen, dimensionale Messtechnik)
  - Röntgentechnik (Konzeption spezialisierter Röntgenanlagen, individuelle CT-Messdienstleistungen, Hochgeschwindigkeits-CT, Synchrotron-CT)
  - Monitoring entlang des Produktlebenszyklus (von Rohstoffen, über neue Produkte und Komponenten, Qualitätssicherung in Produktion, Inspektion im Betrieb, bis hin zum Recycling)
  - Künstliche Intelligenz (wissensbasierte Bildverarbeitung, Datenanalyse, Entwicklung neuer ML-Strategien für Scanoptimierung)
- Industriekooperationen & Öffentlich geförderte Projekte

Haftungsausschluss:

Die in diesem Handbuch bereitgestellten Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Der Autor/die Autoren übernehmen für die bereitgestellten Inhalte, soweit gesetzlich zulässig, keine Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität, Eignung für einen bestimmten Zweck bzw. Nichtverletzung von Rechten Dritter.

Die bereitgestellten Inhalte sind jedoch ausschließlich die des Autors/der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union oder des Gemeinsamen Sekretariats INTERREG VI-A Deutschland/Bayern-Österreich 2021-2027 wider. Weder die Europäische Union noch die Bewilligungsbehörde können für sie verantwortlich gemacht werden.

Sämtliche bereitgestellten Inhalte, einschließlich Texte, Grafiken, Logos und Bilder sind, soweit nicht anders dargestellt, Rechte des Autors/der Autoren. Die Verwendung/Vervielfältigung ist, soweit nicht anders angegeben, bis auf Widerruf unter Angabe der Quelle gestattet. Sofern dadurch die Rechte Dritter betroffen sind, ist vorweg deren Einverständnis einzuholen.

Anhang

Überblick über Sensorik-Verfahren

Ein exemplarischer Überblick über die vielfältigen Ausprägungen unterschiedlicher Sensorik-Verfahren:

I. **Bauteil- bzw. Produkt-Überwachung / Qualitätssicherung**
   1. Ultraschallbasierte Verfahren
      a. Phased-Array-Technik
      b. Squirter-Technik
      c. Laser-Ultraschall
      d. Luftultraschall

   2. Röntgenprüfung:
      a. Röntgencomputertomographie XCT
         i. Höchstauflösende CT
         ii. (Sub-) Micro-CT
         iii. Mobile CT
         iv. Phasenkontrast- und Dunkelfeld-CT
         v. In-Situ-Computertomographie
         vi. Inline-CT
         vii. Synchrotron-CT
         viii. XXL-CT / Hochenergie-CT
      b. Weitere Röntgentechnologien
         i. Radiographie
         ii. High-Speed X-Ray
         iii. Röntgen-Streumethoden
      c. Vollautomatische Inline-Röntgenprüfung
      d. Computerlaminographie
      e. Dual Energy-Verfahren
      f. CT und Röntgensimulation
      g. XRM-II-Nano-CT

   3. Optische Verfahren
      a. Geometriebestimmung (Triangulation etc.)
      b. OCT - Optische Kohärenz-Tomographie
      c. Thermografie
      d. Aktive Thermografie
      e. Passive Thermografie: Pyrometer
      f. Passive Thermografie: Wärmebildkameras
      g. Terahertz-Messtechnik
      h. Deflektometrie

4. Kamerabasierte Inspektion
   a. Optische 3D-Messtechnik mit Lichtschnitt
   b. Visual Inspection
   c. Smart Cameras
   d. Highspeed-Kamerasysteme
   e. TOF – Time-of-Flight-Sensorik

5. Elektro-/Magnetische Verfahren
   a. Metalldetektion
   b. Abstandsmessung (induktiv, kapazitiv)
   c. Abstandsmessung induktiv
   d. Abstandsmessung kapazitiv

6. Magnetresonanz (MR)
   a. Magnetresonanztomographie
   b. Magnetic Particle Spectroscopy (MPS)

7. Chemische Analytik
   a. IR- / NIR-Spektroskopie
   b. Raman-Spektroskopie
   c. THz-Spektroskopie
   d. UV-/VIS-Spektroskopie
   e. Hyper-Spectral Imaging (HSI)
   f. Spektroskopische Mikroskopie

II. Anlagen/Prozessüberwachung

1. Schwingungsmesssysteme
2. Acoustic Emission
3. Neigungs-/Lagesensorik
4. Umweltsensorik
5. Feuchtesensorik
6. Gasanalytik
7. Spektroskopie
   a. IR-/ NIR-Spektroskopie
   b. Raman-Spektroskopie
   c. THz-Spektroskopie
   d. UV/VIS Spektroskopie

8. Metalldetektion

9. Kamerabasiertes Monitoring
   a. Visual Inspection
   b. Smart Cameras
   c. Highspeed-Kamerasysteme
   d. Videoanalysen

10. Thermografie

III. Datenverarbeitungstechnologien/Konnektivität

1. Datenanalytik
   a. KI-getriebene 3D-Rekonstruktion in Echtzeit
   b. Deformationskompensation
   c. Sensordatenfusion
   d. Phasenschiebende Deflektometrie
   e. Multisensorielle Auswertung
   f. Mustererkennung
   g. Bildsegmentierung
   h. Prozessüberwachung

2. Edge Systems

3. Cyber Security

Dies ist keine vollständige Auflistung von Sensortechnologien,
sondern nur eine exemplarische Darstellung einer möglichen Gliederung!

Quellenverzeichnis des Glossars

Die Definitionen des Glossars sind frei formuliert auf Basis der nachstehenden Quellen. Die Links dienen auch zu Ihrer weiterführenden Information.

1 https://de.wikipedia.org/wiki/Rasterkraftmikroskop
2 https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_Nanospectroscopy_(AFM-IR)
3 https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_resonance_spectroscopy
4 https://de.wikipedia.org/wiki/Schallemissionspr%C3%BCfung
5 https://de.wikipedia.org/wiki/Process_Analytical_Technology
6 https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor
7 https://de.wikipedia.org/wiki/Chargenprozess
8 https://de.wikipedia.org/wiki/Cleaning_in_Place
9 https://de.wikipedia.org/wiki/Industrielle_Computertomographie
10 https://www.dgzfp.de/
11 https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time
12 https://en.wikipedia.org/wiki/Eddy-current_testing
13 https://en.wikipedia.org/wiki/Food_and_Drug_Administration
14 https://de.wikipedia.org/wiki/Feldbus
15 https://de.wikipedia.org/wiki/Gaia-X
16 https://de.wikipedia.org/wiki/Geisterschicht
17 https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision
18 https://de.wikipedia.org/wiki/Gute_Herstellungspraxis
19 https://de.wikipedia.org/wiki/Gefahrenanalyse_und_kritische_Kontrollpunkte
20 https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperspectral_imaging
21 https://en.wikipedia.org/wiki/International_Council_for_Harmonisation_of_Technical_Requirements_for_Pharmaceuticals_for_Human_Use
22 https://de.wikipedia.org/wiki/Induktiver_Sensor
23 https://de.wikipedia.org/wiki/Process_Analytical_Technology
24 https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared
25 https://de.wikipedia.org/wiki/Kalibrierung
26 https://de.wikipedia.org/wiki/Kapazitiver_Sensor
27 https://en.wikipedia.org/wiki/Continuous_production
28 https://de.wikipedia.org/wiki/Dichtheitspr%C3%BCfung
29 https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_ultrasonics
30 https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared#Regions_within_the_infrared
31 https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_particle_inspection
32 https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_time_between_failures
33 https://en.wikipedia.org/wiki/Nondestructive_testing
34 https://en.wikipedia.org/wiki/Near-infrared_spectroscopy
35 https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_coherence_tomography
36 https://de.wikipedia.org/wiki/Process_Analytical_Technology
37 https://oegfzp.at/
38 https://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Optische_Messtechnik

39 https://de.wikipedia.org/wiki/Process_Analytical_Technology
40 https://de.wikipedia.org/wiki/OPC_Unified_Architecture
41 https://de.wikipedia.org/wiki/Process_Analytical_Technology
42 https://en.wikipedia.org/wiki/International_Council_for_Harmonisation_of_Technical_Requirements_for_Pharmaceuticals_for_Human_Use
43 https://de.wikipedia.org/wiki/Eindringpr%C3%BCfung
44 https://en.wikipedia.org/wiki/Raman_spectroscopy
45 https://en.wikipedia.org/wiki/Radiography
46 https://de.wikipedia.org/wiki/Abtastung_(Signalverarbeitung)
47 https://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_(statistics)
https://de.wikipedia.org/wiki/Probenahme
48 https://de.wikipedia.org/wiki/Spektroskopie
49 https://de.wikipedia.org/wiki/Terahertz-Spektroskopie
50 https://de.wikipedia.org/wiki/Tomografie
51 https://de.wikipedia.org/wiki/Thermografie
52 https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound
53 https://de.wikipedia.org/wiki/Sichtkontrolle
54 https://de.wikipedia.org/wiki/Wareneingangskontrolle
55 https://en.wikipedia.org/wiki/Radiography
56 https://de.wikipedia.org/wiki/Werkstoffpr%C3%BCfung#Zerst%C3%B6rungsfreie_Werkstoffpr%C3%BCfung

SINOPES

Stärkung interregionaler Netzwerke zur Optimierung
der Produktionseffizienz durch Sensorik

www.sinopes.eu