



**Fraunhofer**

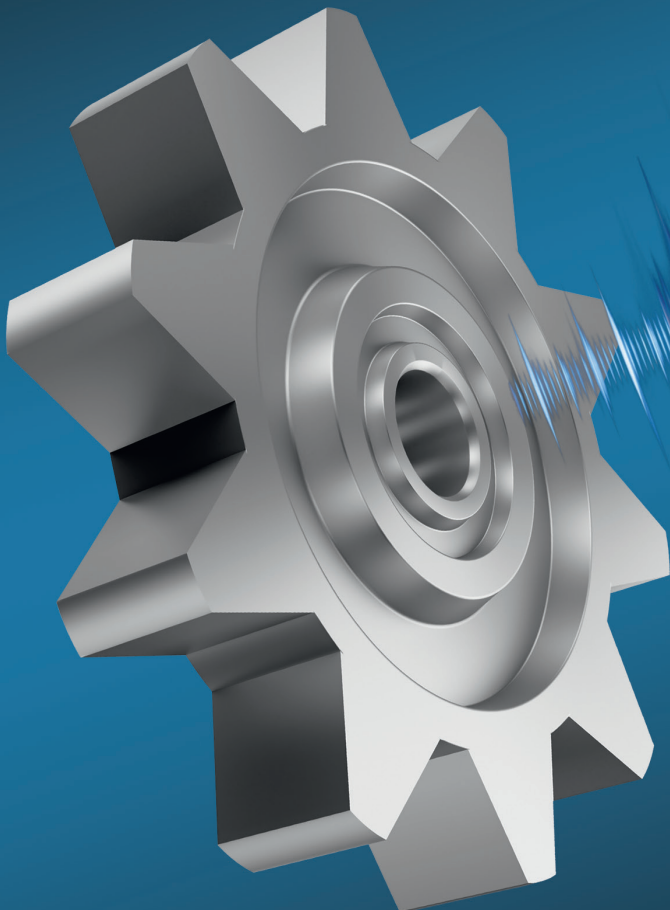
**IKTS**

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR KERAMISCHE TECHNOLOGIEN UND SYSTEME IKTS

INDUSTRIELÖSUNGEN

# **AKUSTISCHE DIAGNOSE**

**FEHLERDETEKTION | SIGNALBEURTEILUNG | QUALITÄTSSICHERUNG**



1 Überblick

2 Schadensdetektion

4 Gütebewertung

6 Verschleißmonitoring

8 Bio- und Sprachsignale

10 Leistungsangebot

11 Kooperationsmodelle

12 Künstliche Intelligenz

13 Glossar



# ZUHÖREN – ANALYSIEREN – QUALITÄT SICHERN

Mit wachsender Komplexität von Produkten sowie Fertigungs- und Betriebsprozessen steigt die Nachfrage nach wirtschaftlichen und zuverlässigen Ansätzen in Qualitätssicherung, Wartung und Instandhaltung. Verfahren der akustischen Diagnose bieten hier ein beachtliches Potenzial, da bereits mit geringem Aufwand Fehler detektiert werden können. Defekte Komponenten sowie kritische Anlagen- und Betriebsprozesse haben spezielle Geräuschemuster, die mit akustischen Verfahren schnell und präzise erkannt werden können. Das Fraunhofer IKTS stellt in dieser Broschüre eine Auswahl an leicht integrierbaren und kostengünstigen Lösungen der akustischen Diagnose vor, die in Kombination mit modernsten Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) entscheidende Optimierungspotenziale entlang des gesamten Produktlebenszyklus bieten.

Das Fraunhofer IKTS ist ein ausgewiesener Spezialist für Systeme und Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung und verfügt über langjährige Erfahrungen im Bereich der akustischen Diagnose. Mit aktiven und passiven Verfahren werden Betriebsstörungen oder Schäden an Komponenten detektiert. Die akustische Diagnose umfasst die Qualitätsbewertung von Bauteilen und Materialien, die Überwachung von Verschleißteilen in Maschinen und Anlagen und die Schadensdetektion an Bauteilen und Komponenten. Dabei können Produkte unterschiedlichster Materialien (u. a. Eisen, Aluminium, Glas, Faserverbundwerkstoffe, Papier) analysiert und bewertet werden. Akustische Diagnose kann während und nach der Fertigung sowie zur Zustandsüberwachung von Verschleißteilen oder Bauteilen eingesetzt werden. Sie ist somit für viele Branchen (Automobil- und Flugzeugindustrie und ihre Zulieferer, Maschinen- und Anlagenbau, Papierindustrie, Lebensmittelindustrie, Energiesektor etc.) geeignet. Auch bei nichttechnischen akustischen Signalen findet diese Technologie Anwendung, beispielsweise zur Schädlingserkennung bei der Getreidelagerung und zur Realisierung einer vertrauenswürdigen und betriebssicheren Sprachbedienung von Geräten im Industrieinsatz.

Modernste Methoden der künstlichen Intelligenz (KI), wie Mustererkennung und Maschinelles Lernen, bilden das Herzstück heutiger und zukünftiger akustischer Diagnoseverfahren. Sie erlauben selbst im Falle komplexer oder gestörter Schallsignale deren Bedeutung in Echtzeit automatisch und zuverlässig zu analysieren. Darüber hinaus kann der Grad der Beschädigung oder eine Restlebensdauer bestimmt werden.





## SCHADENSDETEKTION

Der Prüfung von Bauteilen und Komponenten kommt besonders in den Bereichen Verkehr und Umwelt eine große Bedeutung zu.

Im Bahn- und Flugverkehr steht die Sicherheit der Passagiere an erster Stelle. Fehler in der Radlaufläche, wie z. B. Ausbröckelungen, sollen frühzeitig erkannt werden. Das erfordert eine permanente Überwachung von Rädern und Radlagern im Schienenverkehr. Auch an Flugzeugkonstruktionselementen, z. B. Rumpfschalen, werden hohe Anforderungen gestellt, da sie während des Fluges durch Einschläge oder Ermüdung beschädigt werden können.

Im Bereich der erneuerbaren Energien sind Windenergieanlagen besonderen Belastungen ausgesetzt. Die äußeren Einwirkungen auf die Rotorblätter, wie mechanischer Abrieb, klimatische Ereignisse und laufende Lastwechsel, führen im langjährigen Betrieb zu Verschleiß und Alterung. Ebenso können produktionsbedingte Fehlstellen den Betrieb einer solchen Anlage nachhaltig stören oder gar unmöglich machen.

Je eher solche Schädigungen oder Verschleißeffekte ermittelt werden, umso besser sind die Reparaturmöglichkeiten bzw. die Chancen, Folgeschäden vorzubeugen oder gar Katastrophen zu vermeiden.

### Schienenverkehr

Für den Schienenverkehr bietet das Fraunhofer IKTS eine robuste und autark arbeitende Lösung, mit der Rad und Radlager überwacht sowie blockierte Bremsen, defekte Federn oder unzulässige Neigungen (z. B. durch Fehlbeladung) detektiert werden können.

Grundlage für das Monitoring sind neben Beschleunigungs- und Temperaturdaten auch die vom Rad-Schiene-Kontakt erzeugten Körperschallsignale. Diese Daten werden mit kundenspezifisch angepassten Sensorknoten, bestehend aus Modulen für Sensorik sowie Signalverarbeitungs- und Funkprozessoren, aufgenommen und ausgewertet. Eine Instrumentierung und Betreuung von Versuchsfahrten runden das Angebot zu dieser Monitoringlösung ab.

Für die Überwachung von ICE-Rädern bietet das Fraunhofer IKTS ein Messsystem an, das dauerhaft in der Hohlwelle des Radsatzes verbleibt. Hierbei ermöglicht die Verarbeitung von Hochfrequenz-Körperschallsignalen, die durch den Rad-Schiene-Kontakt erzeugt werden, sowohl eine Überwachung der Räder als auch der Schiene auf Beschädigungen.

#### LEISTUNGSANGEBOT

- ✓ ERKENNERSOFTWARE
- ✓ HARDWARE
- ✓ TRAININGSSOFTWARE
- ✓ KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG

#### MESSPRINZIP

PASSIV

1 BIS 8 KÖRPERSCHALLSENSOREN



### Rotorblätter

Ein integrierbares System zur Überwachung der Rotorblätter von Windenergieanlagen ermöglicht eine zustandsabhängige Instandhaltung der Bauteile. Zur Detektion von Schäden, wie Strukturschäden, Eisansatz und aerodynamischen Unwuchten oder Blitzeinschlägen, kommt das passive Verfahren der Schallemissionsprüfung (Acoustic Emission Testing) zum Einsatz.

Bei diesem Verfahren werden spezielle Ultraschallwellen genutzt, die durch Belastungen in der Struktur entstehen (Schallemissionen). Diese werden von piezoelektrischen Sensoren detektiert. Die Häufung und die Verteilung der georteten Schallemissionsereignisse bilden den aktuellen Schädigungsprozess ab. Da aus Blitzschutzgründen in Windenergieanlagen keine metallischen Leiter in das Rotorblatt eingebracht werden dürfen, wurde eine optische Energie- und Datenübertragung realisiert.

Das IKTS-System ermöglicht so die Einschätzung des Bauteilzustands bis zur nächsten Inspektion und optimiert damit die Planung von Serviceeinsätzen.

### Flugzeugstrukturen

Flugzeugentwickler setzen auf Leichtbaumaterialien für ein geringeres Flugzeuggewicht. Die eingesetzten Kohlefaser-Verbundwerkstoffe (CFK) stellen jedoch besondere Anforderungen an Verarbeitung, Qualitätskontrolle und Inspektion.

Aus Gründen der Sicherheit ist es wegen der hohen Beanspruchungen im Flugverkehr unabdingbar, Risse und Einschläge so früh wie möglich zu erkennen. Mit Hilfe aktiver und passiver Ultraschalldiagnose können Beschädigungen sowohl frühzeitig erkannt als auch auf ihre Schwere hin automatisch eingeschätzt werden.

Die Prüfung und Überwachung der eingesetzten Materialien, wie die strukturelle Integrität von Flugzeug-Rumpfschalen, erfolgt derzeit noch in Belastungstests am Boden. Diese Überwachung soll in Zukunft auch während des Einsatzes in der Luft stattfinden.

LEISTUNGSANGEBOT	
✓	ERKENNERSOFTWARE
✓	HARDWARE
✓	TRAININGSSOFTWARE
✓	KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG
MESSPRINZIP	
PASSIV	
4 BIS 12 PIEZOSENSOREN	

LEISTUNGSANGEBOT	
✓	ERKENNERSOFTWARE
✓	HARDWARE
✓	TRAININGSSOFTWARE
✓	KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG
MESSPRINZIP	
AKTIV	
8 BIS 12 ULTRASCHALLAKTUATOREN/-SENSOREN	

## GÜTEBEWERTUNG

Mehr als nur »gut« oder »schlecht« – Die Gütebewertung von Bauteilen oder Erzeugnissen, vor allem während der Produktion und direkt nach der Herstellung, ist ein zentraler Baustein in der Qualitätssicherung. In den meisten Fällen ist eine 100-Prozent-Kontrolle Voraussetzung für die Abnahme produzierter Teile.

Das Ziel ist, bei einer automatisierten Prüfung alle schlechten Teile, dabei jedoch möglichst wenige oder keine Bauteile, die fehlerlos sind oder »noch« als gut bewertet werden, auszusortieren. Was leicht klingt, ist eine anspruchsvolle Aufgabe, da unterschiedlichste Fehlerarten auftreten können. Allein bei der Zahnradprüfung reicht die Spanne möglicher Fehler von Außen- und Stegrissen unterschiedlicher Größe über an- und abgebrochene Zähne, Lunker und Einschlüsse bis hin zu Fehlstellen. Ein funktionierendes Prüfsystem muss all diese Fehler erkennen.

Güte spielt auch in vielen Bereichen des täglichen Lebens eine große Rolle: Zum Beispiel bei der Verwendung von Tissueprodukten, deren Weichheit ein entscheidendes Kriterium für die Akzeptanz beim Kunden ist. Ob etwas als weich empfunden wird, ist jedoch subjektiv. Das Fraunhofer IKTS hat ein System entwickelt, mit dem die Weichheit instrumentell bestimmt und damit automatisch nachvollziehbar wird.

### Zahnräder

Für eine Gütebewertung von Zahnradern und anderen sintermetallurgischen Bauelementen ist eine automatisierte Klassifikation sinnvoll, die zuverlässig und reproduzierbar arbeitet.

Das Fraunhofer IKTS hat ein System zur Zahnradprüfung entwickelt, das auf der Methode der Klanganalyse basiert. Die Klanganalyse ist als schnelles und kostengünstiges Verfahren hervorragend für eine Prüfung in der Massenfertigung geeignet.

Die Bauteile werden dabei definiert gelagert. Eine angepasste Sensorik regt den Prüfling an und versetzt ihn in Schwingung. In Kombination mit Methoden der KI werden Muster aus dem aufgenommenen Signal gefiltert. Nach einer Anlernphase erfolgt die automatisierte Signalauswertung und damit die Unterscheidung in »Gutteile« und »Schlechtteile«. Das System wurde speziell für den Einsatz in rauer industrieller Umgebung entwickelt und ist zur Einbindung in bestehende Messstrecken geeignet.

#### LEISTUNGSANGEBOT



ERKENNERSOFTWARE

HARDWARE



TRAININGSSOFTWARE



KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG

#### MESSPRINZIP

AKTIV

3 ULTRASCHALLAKTUATOREN/-SENSOREN



### Tissueprodukte

Zu den Tissueprodukten gehören alle Erzeugnisse, bei denen Weichheit ein wichtiges Verkaufsargument ist, z. B. Papiertaschentücher, Kosmetiktücher oder Toilettenpapier. Um die subjektiv empfundene Weichheit zu kategorisieren, werden bisher geschulte Testpersonen eingesetzt (Paneltest).

Zur Bestimmung des Weichheitsgrads hat das Fraunhofer IKTS einen neuen Ansatz entwickelt, der auf der Auswertung des Reißgeräuschs basiert. Auf dessen Grundlage kann eine unbekannte Probe bekannten Klassen (»weich«, »mittel«, »hart«), die in Paneltests gebildet wurden, zugeordnet werden.

Das Ergebnis kann den Hersteller der Tissueprodukte in jeder Phase des Produktionsprozesses unterstützen, indem neben einer kontinuierlichen Qualitätskontrolle auch ein gezielter Einsatz chemischer Additive zur Beeinflussung der Weichheit möglich ist.

### Hohlkörper

Für die Klein-, Mittel- und Großserienfertigung von Hohlkörpern, wie von Bechern oder Röhrchen, bietet das Fraunhofer IKTS ein neues, automatisiertes Prüfverfahren an. Dieses basiert auf der Klanganalyse und ist für Prüflinge aus unterschiedlichsten Materialien, wie Metall oder Keramik, geeignet.

Für die Prüfung werden die Teile in einer geeigneten Art und Weise gelagert, im Anschluss automatisiert angeregt und so in Schwingung versetzt. Eine an die Prüfaufgabe angepasste Sensorik bzw. Mikrofontechnik zeichnet die Reaktion auf das Anregungssignal auf. Daraus wird automatisch eine Gut/Schlecht-Bewertung abgeleitet.

LEISTUNGSANGEBOT	
✓	ERKENNERSOFTWARE
	HARDWARE
✓	TRAININGSSOFTWARE
✓	KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG
MESSPRINZIP	
AKTIV	
1 BIS 4 SENSOREN/MIKROFONE	

LEISTUNGSANGEBOT	
✓	ERKENNERSOFTWARE
	HARDWARE
✓	TRAININGSSOFTWARE
✓	KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG
MESSPRINZIP	
AKTIV	
3 ULTRASCHALLAKTUATOREN/-SENSOREN ODER MIKROFONE	

1 *Keramische Hohlkörper für stationäre Batterien.*



## VERSCHLEISSMONITORING

Bewegliche Teile in Maschinen und Anlagen sind hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Ein Ausfall kann zu Stillstandszeiten, Reparaturkosten und Produktionsverlusten führen.

Damit kommt der Früherkennung von Defekten an Verschleißteilen, wie Walzen, Lagern, Ventilen und Zahnrädern, eine große wirtschaftliche Bedeutung zu. Hinzu kommt, dass besonders in sicherheitsrelevanten Bereichen, wie Chemieanlagen, ein Ausfall solcher Teile verheerende Folgen haben kann, wenn etwa Flüssigkeit ungehindert weiterfließt, weil Ventile nicht mehr ordnungsgemäß schließen. Hier ist es wichtig, die Teile vor einem drohenden Ausfall zu ersetzen.

Die Bewertung, ob ein Bauteil gut oder schlecht ist, genügt dabei nicht. Die vom Fraunhofer IKTS entwickelten Lösungen des Verschleißmonitorings bieten einen neuen Ansatz: Mit Hilfe von Lebensdaueranalysen kann die Restlebensdauer eines Bauteils ermittelt werden. Diese trifft eine Aussage darüber, wann das betreffende Teil ausgetauscht werden muss.

### Walzen

Walzen in Spinnmaschinen, wie sie in der Textilindustrie zum Einsatz kommen, unterliegen einer hohen Abnutzung. Verstärkt treten hier mechanische Fehler, wie Risse, Reibstellen oder Ausbrüche, auf.

Modernste Methoden der akustischen Diagnose helfen, den bevorstehenden Ausfall von Walzen oder anderen Maschinenteilen zu erkennen. Grundlage sind typische Signaturen im Schwingungsspektrum des jeweiligen Arbeitsorgans, die durch mechanische Fehler erzeugt werden und durch Analysen im Zeit-Frequenz-Bereich feststellbar sind.

Die vom Fraunhofer IKTS entwickelte Methode wertet diese Signaturen aus. Ein bevorstehender Ausfall kann damit frühzeitig detektiert und entsprechende Maßnahmen können eingeleitet werden.

#### LEISTUNGSANGEBOT

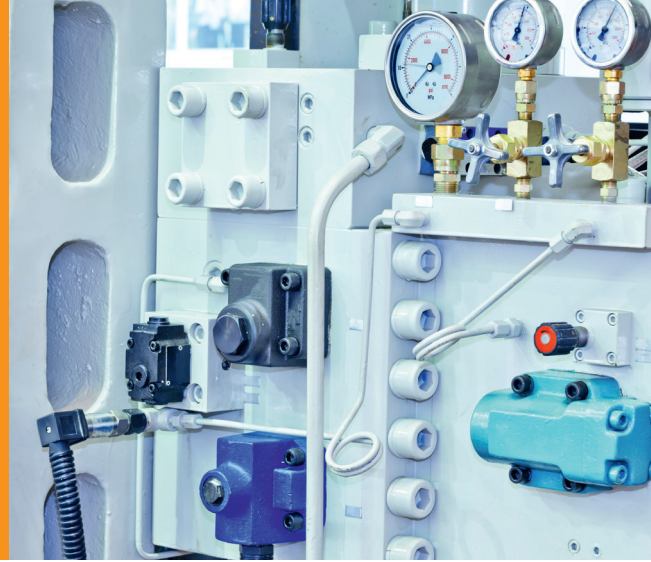
- ✓ ERKENNERSOFTWARE
- ✓ HARDWARE
- ✓ TRAININGSSOFTWARE
- ✓ KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG

#### MESSPRINZIP

PASSIV

1 BIS 4 KÖRPERSCHALLSENSOREN





## Ventile

Mechanische Veränderungen, die mit fortschreitender Lebensdauer und aufgrund der Abnutzung entstehen, wirken sich auf die Schaltgeräusche von Ventilen aus. Die Geräusche besitzen eine ausgeprägte spektrale und zeitliche Struktur und bilden eine gute Basis für eine Zustandsüberwachung.

Verfahren der Mustererkennung sind daher hervorragend geeignet, diese Geräusche zu klassifizieren. Aus der Kenntnis des Verhaltens für verschiedene Lebenszeiten bekannter Ventile kann das tatsächliche Lebensalter unbekannter Ventile ermittelt werden. Dadurch ist es möglich, einen bevorstehenden Ausfall zu erkennen. Andererseits kann auch ein unnötiger Austausch ordnungsgemäß arbeitender Ventile vermieden werden, was zur Senkung von Instandhaltungskosten führt.

## Hydraulische Prüfstände

Bisher ist es notwendig, hydraulische Prüfstände regelmäßigen Wartungen zu unterziehen, auch wenn sich noch kein Fehler in der Anlage abzeichnet. Um dies zu umgehen, hat das Fraunhofer IKTS ein System entwickelt, das eine kostensparende, zustandsabhängige Wartung ermöglicht.

Im Mittelpunkt der Monitoring-Strategie, die über Körperschallsensoren realisiert wird, stehen besonders verschleißgefährdete hydraulische Komponenten (z. B. Servoventile). Durch den Ölstrom werden akustische Signale in einem sehr breiten Frequenzspektrum erzeugt, welche die hydraulischen Prozesse charakterisieren. Änderungen des Zustands durchströmter Komponenten führen zu variierenden Signaleigenschaften. Aus den Hüllkurven der Zeitsignale sowie dem Amplitudenspektrum der Signale können Merkmale extrahiert werden, die für die Zustandsüberwachung der Komponenten geeignet sind. So lassen sich Aussagen zur Notwendigkeit von Instandhaltungsmaßnahmen treffen.

LEISTUNGSANGEBOT	
✓	ERKENNERSOFTWARE
✓	HARDWARE
✓	TRAININGSSOFTWARE
✓	KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG
MESSPRINZIP	
PASSIV	
1 BIS 4 SENSOREN	

LEISTUNGSANGEBOT	
✓	ERKENNERSOFTWARE
✓	HARDWARE
✓	TRAININGSSOFTWARE
✓	KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG
MESSPRINZIP	
PASSIV	
2 BIS 4 KÖRPERSCHALLSENSOREN, ERWEITERBAR	



## BIO- UND SPRACHSIGNALE

Akustische Diagnoseverfahren sind auch hervorragend für nichttechnische Signale, unter anderem Biosignale, Sprache oder Musik, einsetzbar.

Schädlinge, wie Käfer, erzeugen Fress- und Krabbelgeräusche. Damit ist ihr Vorkommen in Lagerhallen oder Getreidesilos nachweisbar. Da Schädlinge sehr große Mengen an Lebensmittel- und Getreidevorräten vernichten können, ist die permanente Überwachung von Silos sinnvoll.

Eine weitere hilfreiche Anwendung der akustischen Mustererkennung, wenn auch nicht zu Diagnosezwecken, ist die Sprachbedienung von Geräten im Industrieinsatz. Das System unterstützt Kunden, die ein Prüfgerät nicht selbst manuell steuern können, z. B. Prüfspezialisten im Einsatz. Das Fraunhofer IKTS bietet dafür eine vertrauenswürdige und betriebssichere Lösung.

### Schädlingsdetektion in Getreidesilos

Gesundes, handelsfähiges Getreide ist in der heutigen Zeit selbstverständlich. Überall dort, wo Getreide gelagert und verarbeitet wird, können Vorratsschädlinge auftreten. Weltweit zerstören Getreideplattkäfer, Dörrobstmotten, Reismehlkäfer, Kornkäfer, Getreidekapuziner und andere bis zu 15 Prozent der Getreideernte. Gründe dafür sind Restpopulationen im Silo, nicht hermetisch dichte Lager oder Einträge vom Feld bzw. von Zulieferern. Eine permanente Überwachung der Vorratsbehälter kann helfen, Schädlinge bereits früh, möglichst im Larvenstadium, zu erkennen.

Am Markt gibt es viele Verfahren zur Schädlingsdetektion (Pheromonfallen, Temperaturmonitoring etc.), die jedoch oft zu ungenau sind. Das Fraunhofer IKTS nutzt KI-basierte Methoden, um Schädlinge auf Grund ihres emittierten Schalls zu detektieren. Die für Getreidelager und Transportsysteme angepassten Lösungen treffen dabei Aussagen zum Umfang des Schädlingsbefalls, der Schädlingsart und dem Entwicklungsstadium der Schädlinge (z. B. Larve/Käfer).

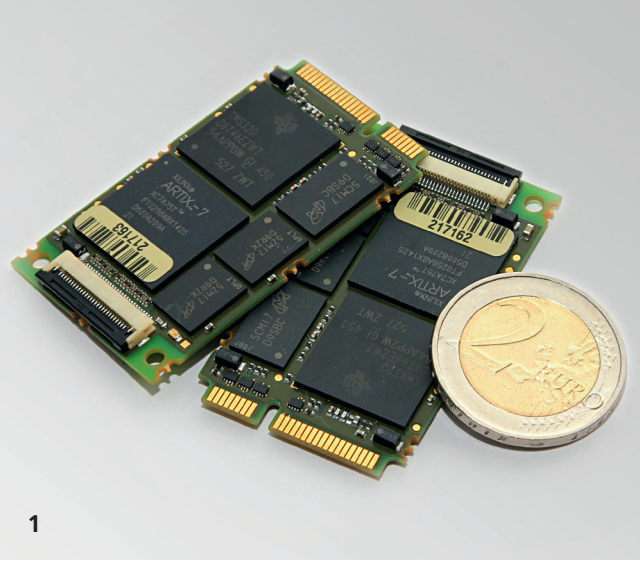
#### LEISTUNGSANGEBOT

- ✓ ERKENNERSOFTWARE
- ✓ HARDWARE
- ✓ TRAININGSSOFTWARE
- ✓ KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG

#### MESSPRINZIP

PASSIV

1 BIS 20 SENSOREN



1

### Verbale Systemsteuerung

Moderne Mess- und Prüfgeräte besitzen eine Vielzahl von Einstellungs- und Programmiermöglichkeiten. Bei der praktischen Arbeit ist eine manuelle Bedienung jedoch oft schwierig (Vielzahl von Menüs und Untermenüs) oder unmöglich (Hände bei der Prüftätigkeit nicht frei oder verschmutzt). Der Einsatz von Spracherkennungs- und Sprachsynthesetechnologie bietet ein enormes Potenzial für die Effektivierung von Prozessabläufen.

Sprachtechnologien sind inzwischen so weit fortgeschritten, dass eine natürlichsprachliche Mensch-Maschine-Kommunikation problemlos möglich ist. Kommerziell verfügbare Lösungen übertragen allerdings in der Regel die Nutzerspracheingaben an Server eines Drittanbieters. Das kann einerseits die Datensicherheit kompromittieren, da vertrauliche Informationen an Dritte übertragen, dort möglicherweise dauerhaft gespeichert und ggf. weiterverwertet werden. Andererseits kann die Betriebssicherheit gestört werden, da die angebotenen Lösungen auf Funknetzwerkverbindungen angewiesen sind. Für den Einsatz in Prüfgeräten sind diese Lösungen daher nicht empfehlenswert.

Das Fraunhofer IKTS bietet ein vertrauenswürdiges und betriebssicheres hardwarebasiertes Sprachdialogsystem zur Benutzerinteraktion mit Prüfgeräten an, welches die Ein- und Ausgabe fließender Sprache erlaubt. Das Dialogsystem kann in das vorhandene Prüfgerät integriert oder über eine USB-Schnittstelle angeschlossen werden und unterstützt kabelgebundene oder Bluetooth-Headsets. Damit ist der Benutzer in der Lage, berührungslos (»hands and eyes free«) mit dem Prüfgerät zu kommunizieren.

Quittungstöne (»Earcons«) dienen der Bestätigung von Vorgängen. Die Verlagerung rechenintensiver Algorithmen in Hardware ermöglicht eine Miniaturisierung des Systems. Für PC-basierte Mess- und Prüfgeräte, die über ausreichend Reserve an Rechenleistung verfügen, steht auch eine reine Softwarelösung zur Verfügung.

Besonderer Wert wurde bei der Entwicklung auf Vertrauenswürdigkeit gelegt. So erfolgt keine Datenübertragung an externe Server. Es sind weder ein permanentes Handy- oder Funknetz noch eine Internetanbindung notwendig. Eine etwaige Übertragung sensibler oder privater Daten ist ausgeschlossen. Das System ermöglicht im Gegensatz zur Spracherkennung auf Mobiltelefonen bereits eine Steuerung von Geräten. Eine zusätzliche Sprachsynthese erlaubt Rückfragen und Bestätigungen für eine umfassende Kommunikation zwischen Anwender und System.

LEISTUNGSANGEBOT	
✓	ERKENNERSOFTWARE
✓	HARDWARE
✓	TRAININGSSOFTWARE
✓	KUNDENSPEZIFISCHE ENTWICKLUNG
MESSPRINZIP	
NICHT ZUTREFFEND	
1 MIKROFON/HEADSET	

1 Miniaturisierte Module des IKTS-Sprachdialogsystems.



## LEISTUNGSANGEBOT

Das Fraunhofer IKTS kann auf dem Gebiet der akustischen Diagnose ein langjähriges Know-how vorweisen. Mit neuen Ansätzen, die auf modernsten Methoden der künstlichen Intelligenz basieren, werden Analysen und Bewertungen von technischen und nichttechnischen Signalen realisiert. Individuelle Leistungsangebote bieten jedem Interessenten die Option, das passende Angebot für effektive Qualitätskontrollen oder Zustandsüberwachungen zu wählen.

### Erkennersoftware

Die Erkennersoftware ist ein unter Windows oder Linux lauffähiges Programm, das zur Mustererkennung eingesetzt wird. Es ordnet aufgezeichnete Signale von Prüfobjekten automatisch Klassen (z. B. gut/fehlerhaft, neu/verschlissen/defekt) zu oder schätzt eine Prüfgröße (z. B. Restlebensdauer, Materialeigenschaften) ein. Außerdem ist eine Bewertung zeitlich aufeinanderfolgender Signalereignisse (z. B. Schaltgeräusche, Sprache) möglich.

### Hardwaremodule

Hardwaremodule ermöglichen variable, mobile Messungen und sind hervorragend für Prüfaufgaben geeignet, welche nicht stationär durchgeführt werden. Sie bieten den gleichen Leistungsumfang wie die Erkennersoftware und sind auch für eine portable Datenerfassung geeignet.

### Trainingssoftware

Die Trainingssoftware ermöglicht es dem Kunden, neue Modelle (andere Serien des gleichen Bauteils mit anderen Eigenschaften, neue Bauteiltypen) selbstständig anzulernen und die Erkennersoftware damit anzupassen.

### Kundenspezifische Entwicklungen

Das Fraunhofer IKTS bietet kundenspezifische Systemlösungen aus einer Hand an. Auf Basis von Kundenanforderungen wird ein Konzept für ein System (bestehend aus Sensorik, Elektronik, Hard- und Software) erarbeitet und am IKTS umgesetzt. Die Systeme können in Messstrecken eingebaut werden und als inlinefähige Prüfsysteme fungieren.

### Weitere Angebote

- Machbarkeitsstudien
- Wissenschaftliche Beratungen
- Datenanalyse und -auswertungen
- Entwicklung kundenspezifischer Software
- Entwicklung eingebetteter Mustererkennungssysteme/Systeme zur intelligenten Signalverarbeitung
- Entwicklung von Gesamtsystemen (vom Sensor bis zur Klassifikation)
- FuE-Kooperationsprojekte mit Unternehmen und Forschungseinrichtungen



## KOOPERATIONSMODELLE

Innovation und Entwicklung sind Bausteine für eine erfolgsversprechende Unternehmenszukunft. Um Wettbewerbsvorteile zu generieren, bietet Fraunhofer maßgeschneiderte Kooperationsmöglichkeiten für die bestmögliche Form der Zusammenarbeit für klein- und mittelständische Unternehmen. Damit können Entwicklungskompetenzen vom Kunden kurzfristig und bedarfsorientiert abgerufen und genutzt werden.

### **Einzelaufträge**

Der klassische Fall einer Kooperation ist der Einzelauftrag. Das Unternehmen sieht einen Forschungs- oder Entwicklungsbedarf. Das Fraunhofer IKTS entwickelt entsprechend der Anforderungen des Unternehmens eine termin- und qualitätsgerechte Lösung.

### **Verbundprojekte**

Manche Problemstellungen sind so komplex, dass mehrere Partner die Lösung entwickeln müssen. Dann steht das gesamte Umfeld der Fraunhofer-Institute zur Verfügung. Auch externe Partner können hinzugezogen werden.

### **Strategische Partnerschaften und Innovationscluster**

Aus Vorlaufforschung, die zunächst unabhängig von Aufträgen erfolgt, ergeben sich häufig lang andauernde Partnerschaften mit Unternehmen auf regionaler und internationaler Ebene.

### **Ausgründungen**

Fraunhofer-Mitarbeiter machen sich oft mit einer Neuentwicklung selbstständig, an der sich die Fraunhofer-Gesellschaft beteiligen kann. Im Einzelfall sind sogar strategische Beteiligungen und Joint Ventures möglich. Auch die Auftraggeber einer neuen Entwicklung können Teilhaber des Spin-off-Unternehmens werden.

### **Lizenzierungsmodelle**

Lizenzen räumen Dritten ein Nutzungsrecht an gewerblichen Schutzrechten unter definierten Bedingungen ein. Damit können Innovationen genutzt werden, wenn die eigene Weiterentwicklung zu hohe Kosten verursachen würde, die Kapazitäten zur Markteinführung nicht ausreichen oder die Innovation nicht in das bestehende Leistungsprogramm passen würde. Das Fraunhofer IKTS bietet flexible Lizenzmodelle an, die zum unternehmensweiten Einsatz, zur Optimierung des eigenen Angebots oder der Vermarktung an Endkunden genutzt werden können.



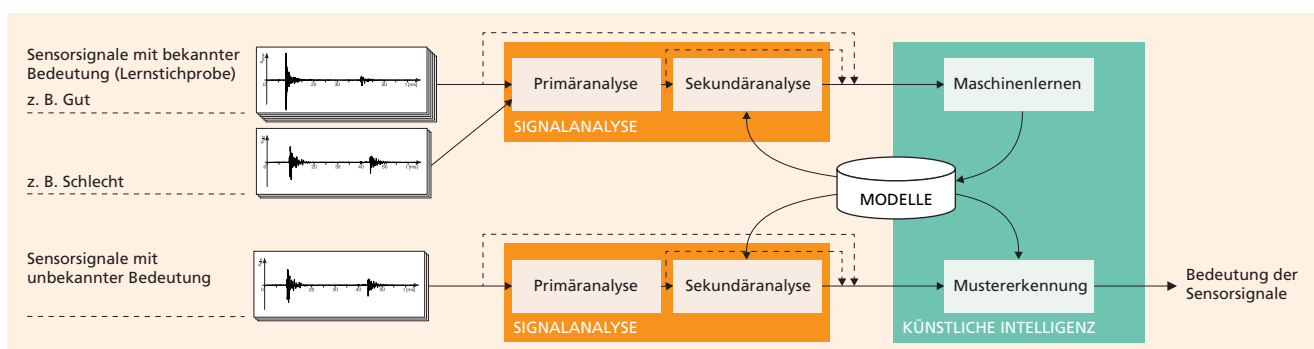
## KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Von jeher haben Mess- und Prüfgeräte nicht nur das Ziel, Daten und Werte, sondern auch deren Interpretation und Bedeutung anzuzeigen. Im Zuge von Industrie 4.0 entstehen immer vielfältigere und komplexere Prüfaufgaben. Durch neue Messverfahren und unterschiedlichste Sensoren fallen immer größere Datenmengen an, die oft nicht leicht interpretierbar sind. Künstliche Intelligenz (KI) ist in der Lage, komplexen Messwerten eine Bedeutung zuzuordnen und Gesamtsituationen einzuschätzen.

Das IKTS bietet ein umfangreiches Leistungsspektrum an modernsten Methoden der künstlichen Intelligenz zur automatischen Bewertung technischer und nichttechnischer Prozesse. Mit Hilfe von Verfahren zur Signalanalyse, Mustererkennung und zum Maschinenlernen können Sensorsignale automatisch interpretiert und in deren Bedeutung erkannt werden, z. B. »Prüfling gut« oder »Bauteil besitzt noch 20 Prozent Restlebensdauer«. Im Zeitalter von Industrie 4.0 übernimmt der Mensch nicht mehr die Aufgabe, Messgeräteanzeigen zu interpretieren. Vielmehr interagiert er mit KI-Systemen und überwacht diese. KI-basierte Mess- und Prüfsysteme erlernen vor der Inbetriebnahme aus Beispielen den prinzipiellen Zusammenhang zwischen Sensorsignalen und deren Bedeutung für ihre individuelle Prüfaufgabe. Später können sie vom Menschen »belehrt« und korrigiert werden und sich damit im laufenden Betrieb selbst anpassen und ver-

bessern. Diese Technologie ist wesentlich flexibler und leistungsfähiger als traditionelle Prüfverfahren. Neben den eigentlichen KI-Komponenten nutzt das IKTS bewährte Signalanalysetechnologie. Die Primäranalyse basiert im Wesentlichen auf Verfahren der Signalverarbeitung, u. a. Zeit-Frequenz-Transformationen (STFT, Wavelettransformation etc.), Digitalfilter und Filterbänke, Signalmodellierung (z. B. mit Optimalfiltern) und KI-basierte Signalanalyse (z. B. CNNs). Die Sekundäranalyse hat die Aufgabe, die für die Mustererkennung relevanten Informationen aus den Primärmerkmalen zu extrahieren, z. B. durch Hauptkomponentenanalyse (PCA) oder lineare Diskriminanzanalyse (LDA).

Die Mustererkennung basiert z. B. auf tiefen neuronalen Netzen (DNN), Gaussian-Mixture-Modellen (GMM), Hidden-Markov-Modellen (HMM) oder Supportvektormaschinen (SVM) und schließt auch die Interpretation der Erkennungsergebnisse ein. Die hierfür notwendigen Klassenmodelle werden durch spezielle Maschinenlernverfahren, beispielsweise Deep Learning (DNN), EM-Algorithmus (GMM, HMM) und konvexe Optimierung (SVM), gebildet. Dazu werden dem System in einer Anlernphase Sensorsignale mit bekannter Bedeutung (z. B. »Prüfling ist gut«, »Prüfling ist schlecht«), auch Lernstichprobe genannt, zugeführt. Modelle können bei Bedarf später während des Betriebs weitergelernt (adaptiert) werden, um das KI-System zu verbessern oder an veränderte Aufgaben anzupassen. In bestimmten Konfigurationen tiefer neuronaler Netze übernimmt der Mustererkenner die Aufgabe der Sekundäranalyse, teilweise auch der Primäranalyse, mit.





## GLOSSAR

### Deep Learning

► Maschinenlernverfahren für tiefe neuronale Netze

### Deep Neural Network (DNN)

Künstliches neuronales Netz mit vielen versteckten Schichten,

► Mustererkenner für ► Merkmalvektor(fol)gen

### EM-Algorithmus

► Maschinenlernverfahren für ► Gaussian-Mixture-Modelle und ► Hidden-Markov-Modelle

### Folgenklassifikator

► Mustererkenner für eine Folge von ► Merkmalvektoren

### Gaussian-Mixture-Modell (GMM)

Statistisches ► Modell zur ► Mustererkennung in ► Merkmalvektoren basierend auf Gaußschen Mischverteilungsdichten

### Hidden-Markov-Modell (HMM)

Statistisches ► Modell zur ► Mustererkennung in ► Merkmalvektorfolgen basierend auf einem Markov-Prozess, z. B. GMM-HMM, DNN-HMM

### Klassifikationsverfahren

Siehe ► Mustererkennung

### Maschinelernen

Automatische Verfahren zur Bildung von ► Modellen für ► Mustererkennung und Entscheidungsprozesse

### Modell

Hier: rechentechnische Repräsentation von Wissen

### Merkmalanalyse

Verfahren zur Berechnung von ► Merkmalvektor(fol)gen aus Messsignalen

### Merkmalvektor(folge)

Satz von ► klassifikationsrelevanten numerischen Parametern, ggf. als zeitliche Folge

### Mustererkennung

Verfahren zur Unterscheidung in vorgegebenen Klassen, z. B. basierend auf ► DNN, ► GMM, ► HMM, ► SVM

### Primäranalyse

Erster Schritt der ► Merkmalanalyse (Signalverarbeitung, z. B. Filterbänke, FFT, STFT, DWT, Cepstrum, LPC, Wigner-Ville-Verteilung etc.)

### Sekundäranalyse

Zweiter Schritt der ► Merkmalanalyse (Statistik, Datenkompression, z. B. Quantile, Momente, Differenzen, Filterung, PCA, LDA, ICA, JFA etc.)

### Semantikverarbeitung

Rechentechnische Verarbeitung von Bedeutung (z. B. von Messsignalen)

### Signalanalyse

Siehe ► Primäranalyse

### Supportvektormaschine (SVM)

► Mustererkenner für ► Merkmalvektoren

### Trainingsverfahren

Siehe ► Maschinelernen

### Vektorklassifikator

► Mustererkenner für einen ► Merkmalvektor

# KURZPORTRÄT DES FRAUNHOFER IKTS

Das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS betreibt anwendungsorientierte Forschung für Hochleistungskeramik. Die drei Instituts-  
teile in Dresden und Hermsdorf (Thüringen) formen gemeinsam das größte  
Keramikforschungsinstitut Europas.

Als Forschungs- und Technologiedienstleister entwickelt das Fraunhofer IKTS  
moderne keramische Hochleistungswerkstoffe, industrierelevante Herstellungs-  
verfahren sowie prototypische Bauteile und Systeme in vollständigen Fertigungs-  
linien bis in den Pilotmaßstab. Darüber hinaus umfasst das Forschungsportfolio  
die Kompetenzen Werkstoffdiagnose und -prüfung. Die Prüfverfahren aus den  
Bereichen Akustik, Elektromagnetik, Optik, Mikroskopie und Strahltechnik tragen  
maßgeblich zur Qualitätssicherung von Produkten und Anlagen bei.

Das Fraunhofer IKTS arbeitet in acht marktorientierten Geschäftsfeldern, um  
keramische Technologien und Komponenten sowie zerstörungsfreie Prüfverfahren  
für neue Branchen, Produktideen und Märkte jenseits der klassischen Einsatz-  
gebiete zu demonstrieren und zu qualifizieren. Dazu gehören keramische Werk-  
stoffe und Verfahren, Maschinenbau und Fahrzeugtechnik, Elektronik und Mikro-  
systeme, Energie, Umwelt- und Verfahrenstechnik, Bio- und Medizintechnik,  
Optik sowie die Material- und Prozessanalyse.



[www.ikts.fraunhofer.de](http://www.ikts.fraunhofer.de)

## KONTAKT

Industrielösungen  
Akustische Diagnose

Dr.-Ing. Dipl.-Inf.  
Constanze Tschöpe  
**Fraunhofer-Institut für  
Keramische Technologien  
und Systeme IKTS**

Maria-Reiche-Straße 2  
01109 Dresden  
Telefon +49 351 88815-522  
[constanze.tschoepe@  
ikts.fraunhofer.de](mailto:constanze.tschoepe@ikts.fraunhofer.de)